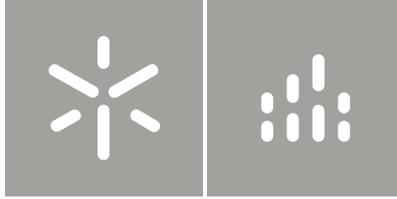


**Universidade do Minho**  
Escola de Arquitectura

Bruno Acácio Ferreira Figueiredo

## **DESCODIFICAÇÃO DO *De re aedificatoria* DE ALBERTI**

**Gramáticas de forma para a análise  
e geração de edifícios sagrados**



**Universidade do Minho**  
Escola de Arquitectura

Bruno Acácio Ferreira Figueiredo

## **DESCODIFICAÇÃO DO *De re aedificatoria* DE ALBERTI**

**Gramáticas de forma para a análise  
e geração de edifícios sagrados**

Tese de Doutoramento em Arquitectura  
[Construção e Tecnologia]

Trabalho efectuado sob a orientação de  
Professor Doutor José Pinto Duarte  
Professor Doutor Mário Krüger  
Professor Doutor Pedro Bandeira

Agosto de 2015

## DECLARAÇÃO

Nome: Bruno Acácio Ferreira Figueiredo

Endereço electrónico: bfigueiredo@arquitectura.uminho.pt Telefone: 919003496

Número de Cartão de Cidadão: 10833666

Título da tese:

Descodificação do *De re aedificatoria* de Alberti:

Gramáticas de forma para a análise e geração de edifícios sagrados

Orientadores:

Prof. Doutor José Pinto Duarte (Universidade de Lisboa), Prof. Doutor Mário Krüger (Universidade de Coimbra) e Prof. Doutor Pedro Bandeira (Universidade do Minho)

Ano de conclusão: 2015

Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Doutoramento em Arquitetura, especialização em Construção e Tecnologia

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE REFERÊNCIA ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho,

Assinatura:



## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração da presente tese. Confirmando que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados.

Mais declaro que tomei conhecimento integral do Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 4 de Setembro de 2015

Nome completo: Bruno António Figueiredo Figueiredo

Assinatura: Bruno António Figueiredo Figueiredo



## AGRADECIMENTOS

Um primeiro agradecimento especial aos orientadores desta tese. Ao Professor José Pinto Duarte pela sua amizade, orientação e rigor ao longo destes já muitos anos de trabalho conjunto. Ao Professor Mário Krüger por toda a generosidade e alegria de descoberta do saber. Ao Professor Pedro Bandeira pela amizade e apoio de sempre.

Esta tese está em débito com todos os que participaram no projeto *Alberti Digital*. Nesse percurso cabe-me agradecer as discussões e partilha de conhecimento com o Bruno Araújo, Bruno Gil, Daniel Mendes, Eduardo Castro e Costa, Fernando Fonseca, Filipe Coutinho, Gonçalo Canto Moniz, Joana Maia, Luís Sousa, Rui Lobo e Vítor Murtinho.

Uma menção especial ao acolhimento dos membros do *Design Computation Group* do MIT, ao modo de ver Arquitetura da Professora Terry Knight e do Professor George Stiny.

Uma palavra de agradecimento a todos os amigos da EAUM que facilitaram os tempos de execução desta tese.

Aos amigos que me acompanharam e apoiaram em diversos momentos destes últimos anos — Ana Vicente, André Tavares, Bruno Baldaia, Dulcineia Neves, Ivo Oliveira, Joana Pimentel, Luísa Carvalho, Mathilde Bauchet, Katia Zolotovskiy, Pedro Castelo, Sara e Samuel Cabral, e Susana Mota-Freitas.

Aos meus pais, pelo passado, mas também pelo futuro. À Francelina, Sofia, Gustavo, Suzana e Pedro pelo incentivo e pela compreensão de todos os "nãos".

À Susana, por tudo.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo apoio financeiro com a Bolsa de Doutoramento SFRH/ BD/ 69910/ 2010 possibilitando a realização de estudos no MIT.

Esta tese integra-se no conjunto de resultados obtidos no âmbito dos projetos:

“Digital Alberti: Tradition and innovation in architectural theory and practice in Portugal”  
(n.º de referência: FCT, PTDC/AUR-AQI/108274/2008).

“Tecton 3D: digital mockup touching the 3rd dimension”  
(n.º de referência: FCT, PTDC/EEI-SII/3154/2012).



## RESUMO

Esta tese cruza duas áreas disciplinares tradicionalmente distantes, as tecnologias digitais e a História da Arquitetura, ao propor uma leitura computacional do *De re aedificatoria*, de Leon Battista Alberti (1485), pelo recurso ao formalismo das gramáticas de forma para a geração e análise de edifícios sagrados de planta retangular e correspondente aplicação no auxílio ao escrutínio da existência de uma arquitetura da Renascença em Portugal.

O legado arquitetónico da teoria e prática de projeto de Alberti evidenciam um pensamento em que formas antecedentes e conseqüentes estão profundamente interligadas, podendo ser exploradas e desenvolvidas pela sua tradução em regras edificatórias, se entendidas como uma forma de computação. Do mesmo modo, a análise de projetos representativos da arquitetura portuguesa do período da Contrarreforma à luz de regras arquitetónicas estabelecidas por Alberti sugere a presença da sua linguagem de projeto nos edifícios portugueses, podendo ser lidos como uma evolução dessa mesma linguagem.

Com este propósito desenvolve-se uma metodologia de investigação que recorre a modelos computacionais paramétricos para a geração de edifícios sagrados albertianos, sucedida da avaliação analítica inversa da sua capacidade generativa relativamente a um *corpus* de igrejas portuguesas construídas nos séculos XVI e XVII, identificando-se aspectos morfológicos e proporcionais em que são concordantes com o cânone de Alberti, e outros divergentes, que auxiliam à compreensão de uma evolução linguística da arquitetura portuguesa desse período.

Palavras-chave: computação em arquitetura, gramáticas de forma, *De re aedificatoria*, Leon Battista Alberti, arquitetura da portuguesa da Renascença.



## ABSTRACT

The thesis crosses two traditionally distant disciplines, digital technologies and History of Architecture, proposing a computational reading of *De re aedificatoria*, from Leon Battista Alberti (1485), by the use of shape grammars formalism to generate and analyse sacred buildings inscribed in a rectangular plan and subsequent application in the scrutiny of the existence of a Renaissance architecture in Portugal.

The architectural legacy from the theory and design of Alberti express a thought in which antecedent and consequent shapes are deeply interconnected and can be explored by its translation in edificatory rules, if understood as a form of computation. Similarly, the analysis of representative portuguese architecture from the Counter-Reformation period at the light of architectural rules established by Alberti, suggests the presence of his design language in portuguese buildings, which may be read as an evolution from that language.

To this end we developed a research methodology that uses parametric computational models to generate albertian sacred buildings, followed by a reverse analytical evaluation of their generative outcomes relatively to a *corpus* of portuguese churches built in the sixteenth and seventeenth centuries, identifying morphological and proportional features that are explained by Alberti's canon, and others, that help to infer an evolution of the portuguese architecture language from that period.

Keywords: computation in architecture; shape grammars; *De re aedificatoria*; Leon Battista Alberti, portuguese Renaissance architecture.



# ÍNDICE

1. Introdução	1
1.1. Tema e Problemática	3
1.2. Questão e Hipótese	4
1.3. Contribuições e Descobertas	7
1.4. Organização da Tese	8
1.5. Metodologia	10
2. Contexto	13
2.1. O <i>De re aedificatoria</i>	15
2.1.1. Origem, Princípios e Ordem do <i>De re aedificatoria</i>	15
2.1.2. O pensamento <i>De re aedificatoria</i> : lógica da teoria e da prática	19
2.1.3. A teoria artística no <i>De re aedificatoria</i>	22
2.2. Gramáticas de Forma	26
2.2.1. Introdução	26
2.2.2. Definição e formalismo das gramáticas de forma	27
2.2.3. Gramáticas de forma e linguagem de projeto	41
2.2.4. Implementação de gramáticas de Forma	52
2.2.5. Sumário	61
3. Descodificação do <i>De re aedificatoria</i> (1485): inferência da gramática dos templos retangulares	63
3.1. Um <i>corpus</i> não edificado: os edifícios sagrados no <i>De re aedificatoria</i>	65
3.1.1. Introdução	65
3.1.2. Os templos e a <i>necessidade</i>	66
3.1.2.1. Os descritores da edificatória	66
3.1.2.2. A Construção	71
3.1.3. Os templos e a <i>comodidade</i>	74
3.1.4. Os templos e o <i>prazer</i>	77
3.1.4.1. Área e compartimentação ou composição espacial	80
3.1.4.2. Pórtico	83
3.1.4.3. Sistematização da coluna	85
3.1.4.4. Paredes e Cobertura	90
3.1.4.5. Aberturas	94
3.1.4.6. A dimensão edificatória dos <i>números</i>	97
3.1.5. Sumário	102
3.2. Gramática dos edifícios sagrados de planta retangular	106
3.2.1. Introdução	106
3.2.2. Formalismos da gramática ou organização da gramática	106
3.2.2.1. Composição da gramática	106
3.2.2.2. Os estágios da gramática	107
3.2.2.3. Gramáticas de descrição	108
3.2.2.4. Gramáticas de forma paralelas e as suas álgebras	109
3.2.2.5. Mecanismo de controlo da gramática	111
3.2.2.6. Estratégia de composição	115
3.2.3. Inferência das regras	116
3.2.3.1. Composição interna do edifício	116
3.2.3.2. Delineamento das paredes	126
3.2.3.3. Delineamento do pórtico	128
3.2.3.4. Extrusão das paredes	137
3.2.3.5. Adição do pórtico	142
3.2.3.6. Adição de coberturas	150
3.2.3.7. Adição de aberturas	153
3.2.3.8. Estágio final	161
3.3. Avaliação da capacidade generativa da gramática	162
3.3.1. Introdução	162
3.3.2. Processo de derivação de soluções de projeto	162
3.3.3. Universo de soluções de projeto	172
3.3.4. Um pseudo-interpretador da gramática	182
3.3.5. Avaliação prévia da gramática	190
3.4. Sumário	193

4. A linguagem edificada de Alberti e o <i>De re aedificatoria</i> : <i>corpus</i> edificado, avaliação e transformação gramatical	195
4.1. Introdução	197
4.2. Da obra edificada de Alberti, um <i>corpus</i> complementar da gramática albertiana	199
4.2.1. Templo Malatestiano	200
4.2.2. Igreja de San Sebastiano	204
4.2.3. Igreja de Sant'Andrea	209
4.2.4. Sumário prévio	218
4.3. Avaliação Analítica inversa	219
4.3.1. Templo Malatestiano	223
4.3.2. Igreja de San Sebastiano	229
4.3.3. Igreja de Sant'Andrea	234
4.4. Transformação da gramática segundo cânones albertianos edificados	240
4.4.1. Templo Malatestiano	241
4.4.2. Igreja de San Sebastiano	243
4.4.3. Igreja de Sant'Andrea	249
4.4.4. Uma gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti	256
4.5. Sumário	262
5. Avaliação analítica inversa da linguagem albertiana num <i>corpus</i> de igrejas portuguesas	265
5.1. Introdução	267
5.2. Um <i>corpus</i> de igrejas portuguesas do período da Contrarreforma	269
5.2.1. Episódios iniciáticos de uma <i>formulação regional</i>	269
5.2.2. O <i>modo nostro</i> jesuíta como modelo arquitetónico	272
5.2.3. As igrejas inaugurais de São Roque e do Espírito Santo	275
5.2.4. A igreja jesuíta de São Lourenço	280
5.2.5. A igreja filipina de São Vicente de Fora	283
5.2.6. Critérios de seleção de um <i>corpus</i> de igrejas portuguesas	285
5.3. Planta da igreja de São Roque	287
5.3.1. Análise morfológica e proporcional à luz das regras edificatórias albertianas	287
5.3.2. A igreja de São Roque como referência para a derivação de uma solução de projeto segundo os cânones albertianos	292
5.3.3. Vestígios de uma solução de projeto albertiano na planta da igreja de São Roque	294
5.3.4. Avaliação do grau de correlação da gramática com a planta da igreja de São Roque	296
5.4. Planta da igreja do Espírito Santo	298
5.4.1. Análise morfológica e proporcional à luz das regras edificatórias albertianas	298
5.4.2. A igreja do Espírito Santo como referência para a derivação de uma solução de projeto segundo os cânones albertianos	305
5.4.3. Vestígios de uma solução de projeto albertiano na planta da igreja do Espírito Santo	308
5.4.4. Avaliação do grau de correlação da gramática com a planta da igreja do Espírito Santo	309
5.5. Planta da igreja de São Lourenço	311
5.5.1. Análise morfológica e proporcional à luz das regras edificatórias albertianas	311
5.5.2. A igreja de São Lourenço como referência para a derivação de uma solução de projeto segundo os cânones albertianos	316
5.5.3. Vestígios de uma solução de projeto albertiano na planta da igreja de São Lourenço	318
5.5.4. Avaliação do grau de correlação da gramática com a planta da igreja de São Lourenço	319
5.6. Planta da igreja de São Vicente de Fora	321
5.6.1. Análise morfológica e proporcional à luz das regras edificatórias albertianas	321
5.6.2. A igreja de São Vicente de Fora como referência para a derivação de uma solução de projeto segundo os cânones albertianos	327
5.6.3. Vestígios de uma solução de projeto albertiano na planta da igreja de São Vicente de Fora	328
5.6.4. Avaliação do grau de correlação da gramática com a planta da igreja de São Vicente de Fora	329
5.7. Sumário	332
6. Conclusão	335
6.1. Considerações finais	337
6.2. Contribuições	340
6.3. Trabalhos futuros	342
7. Bibliografia	345

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Diagrama síntese da metodologia adoptada no desenvolvimento dos trabalhos da tese.
- Figura 2. Diagrama que relaciona a progressão e segmentação temática do *De re aedificatoria*, com os operadores da teoria arquitetónica albertiana, conforme descrito no Prólogo. Este diagrama é uma adaptação que o autor faz de um diagrama publicado por Choay (1985, p. 81).
- Figura 3. Cronologia representativa do surgimento das gramáticas de forma mais conhecidas confrontada com o âmbito de aplicação das mesmas. Este diagrama é apresentado na dissertação de Yue (2009, p. 22) e é uma adaptação e atualização do diagrama apresentado por Chau et alli. (2004, p. 358).
- Figura 4. Gramática da forma simples para a derivação de quadrados inscritos num quadrado. Apresentam-se duas regras de forma e forma inicial com rótulo. Gramática adaptada de (Stiny, 1980a).
- Figura 5. Derivação de uma forma dentro da linguagem da gramática definida na Figura 4.
- Figura 6. Gramática da forma paramétrica para a derivação de quadriláteros convexos inscritos em quadriláteros convexos. Apresentam-se três regras de forma, em que uma delas apresenta um esquema de funcionamento paramétrico (Regra 2) e, a forma inicial com rótulo. Gramática adaptada de (Stiny, 1980a).
- Figura 7. Derivação de uma forma dentro da linguagem da gramática definida na Figura 6.
- Figura 8. Conjunto de regras da gramática *Ice-Ray* (Stiny, 1977, p. 94). O número de lados dos polígonos da forma do lado esquerdo das regras 1 a 4, condicionam a subforma a que poder-se-á aplicar cada uma das regras.
- Figura 9. A terceira iteração na derivação de uma grelha *Ice-Ray*, conforme ilustrado por Stiny (1977, p. 94), consiste na aplicação da regra que permite a subdivisão de um polígono pentagonal, ou seja, a regra 4.
- Figura 10. “Um programa construtivo para a definição de linguagens de projeto”. Fonte: (Stiny G., 1980b).
- Figura 11. Estágio 1 de derivação da planta da *Villa Poiana*.
- Figura 12. Estágios 2 a 8 de derivação da planta da *Villa Poiana* (continuação da Figura 11.)
- Figura 13. Diagrama representativo das diferentes mecanismos para a transformação de uma gramática de forma. Fonte: (Knight T. W., 1994, p. 105)
- Figura 14. Diagrama ilustrativo da evolução da linguagem pictórica de Georges Vantongerloo pela aplicação de regras de transformação. Fonte: (Knight T. W., 2014, p. 21)
- Figura 15. À esquerda, imagem do interface do interpretador *Shaper*, onde o utilizador pode configurar formas e regras dentro do vocabulário dos blocos de *Fröbel*. À direita, imagem de solução gerada pela GF num visualizador implementado no programa *Inventor* (Fonte: Chase, *Shape grammar implementations The last 35 36 years*, 2010).
- Figura 16. Interface gráfico do *GEdit* (Tapia, A visual implementation of a shape grammar system, 1999).
- Figura 17. Página do livro *Shape Grammars and their Uses: Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics* (Gips, 1975) onde estão ilustradas soluções da gramática *Urform* obtidas pela implementação da mesma num interpretador.
- Figura 18. Hierarquização e dependência dos descritores da edificatória. Diferenciando-se entre partes da conceção de natureza mental e de natureza mental e material (corolário metodológico).
- Figura 19. Hierarquização das principais partes constituintes da generalidade dos edifícios, tendo em consideração a sua função construtiva, conforme o axioma edifício-corpo. estrutural. As fundações e muros compõem as paredes, segmentados nos seus componentes provenientes da aplicação do corolário estrutural.
- Figura 20. Plantas diagramáticas das partes constituintes dos templos. Geometria base circular e retangular.
- Figura 21. Plantas esquemáticas dos diferentes tipos de ornamento para conformação de falsas aberturas.
- Figura 22. Corte longitudinal da Basílica de Maxêncio, Roma (Luigi Canina, *Gli Edifici di Roma Antica*, séc. XIX). Fonte: <http://www.quondam.com/82/8221.htm>, consultado em 15 de Janeiro 2015.
- Figura 23. Gravura de Piranesi da ruína da Basílica de Maxêncio, Roma, Séc. XVIII. Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Piranesi-17018.jpg>, consultado em 15 de Janeiro 2015.
- Figura 24. Vista da capela e sepulcro da família Rucellai, igreja de São Pancrácio, Florença, depois de 1457. Imagem de Grandjean e Famin, 1873. (Tavernor R., 1998, p. 106)
- Figura 25. Planta da configuração original da capela do Santo Sepulcro Rucellai, Florença (Rykwert, 1979, p. 64).
- Figura 26. Fotografia de Tavernor, da frontaria da igreja de São Pancrácio, Florença (Rykwert, 1979, p. 67).
- Figura 27. Dimensionamento da cela dos templos conforme proporções harmónicas.
- Figura 28. Inferência de correspondências inatas a partir das dimensões e diagonais de um cubo unitário.
- Figura 29. Partes e subpartes dos templos, estruturados de acordo com os descritores da edificatória albertiana expressando as relações de dependência entre eles.
- Figura 30. Diagrama representativo das partes constituintes dos templos e suas relações de dependência. Na página seguinte, enumeração de parâmetros que caracterizam a morfologia e proporções das partes, bem como variações que podem adotar.

- Figura 31. *Regra 1. Delineamento da cela*, define a proporção da cela.
- Figura 32. *Regra 11a* da GF1 para a adição das paredes capela-mor de planta com geometria semicircular.
- Figura 33. *Regra 11b* da GF1 para a adição das paredes capela-mor de planta com geometria retangular.
- Figura 34. Estrutura recursiva da GF<sub>A</sub>, Estágio 1 a 3.
- Figura 35. (continuação da Figura 34) Estrutura recursiva da GF<sub>A</sub>, Estágio 4 a 8.
- Figura 36. Esquema paramétrico para a delimitação planimétrico da cela dos templos retangulares.
- Figura 37. Ilustração de correspondências entre os diversos sistemas de proporções descritos para o dimensionamento da cela. Nomeadamente, as proporções descritas no Livro VII e os sistemas de proporções descritos no Livro IX.
- Figura 38. Esquema paramétrico da planta, para a definição da abertura da capela-mor e das aberturas de três pares de capelas laterais.
- Figura 39. *Regra 2. Abertura de capela-mor*.
- Figura 40. Análise de correspondências entre a dimensão das aberturas das capelas laterais e o comprimento da cela, conforme condições descritas por Alberti, para plantas de templos retangulares nas proporções médias e amplas das proporções harmônicas.
- Figura 41. Regra 3a. Abertura da primeira capela lateral.
- Figura 42. Regra 3b. Abertura das capelas subsequentes.
- Figura 43. Variação morfológica da planta de templo retangular, na proporção 2:1, conforme adição de capela-mor e capelas laterais.
- Figura 44. Plantas esquemáticas ilustrativo de parâmetros e geometrias para a adição de capelas de geometria retangular e semicircular.
- Figura 45. Esquema ilustrativo da relação entre a espessura das paredes da cela e a proporção das colunas
- Figura 46. Esquema ilustrativo do dimensionamento da espessura das paredes da cela calculadas por *rationes* da área.
- Figura 47. Plantas esquemáticas das possíveis configurações de pórticos nos templos retangulares.
- Figura 48. Em cima, esquema planimétrico dos diversos componentes de um pórtico da frontaria. Em baixo, plantas de cinco pórticos da frontaria, compostos por seis colunas, cujas variações correspondem à aplicação dos cinco tipos de intercolúnios.
- Figura 49. Dois exemplos da disposição de pórticos soltos das paredes da cela. Em cima, os pórticos da frontaria e fachadas laterais prolongam-se para que haja continuidade entre os três pórticos. Em baixo, dispõem-se pórticos soltos em todo o perímetro da cela, cujos prolongamentos resultam na continuidade de pórticos em todo o perímetro do templo.
- Figura 50. *Regra 8a. Adossado à frontaria*
- Figura 51. *Regra 8d. Solto da frontaria*
- Figura 52. *Regra 8i. Definição da profundidade do pórtico da frontaria*
- Figura 53. *Regra 9a. Adição de pontos axiais das colunas do pórtico da frontaria*
- Figura 54. *Regra 9e. Final da adição de pontos axiais das colunas do pórtico da frontaria.*
- Figura 55. Vista axonométrica de esquema de extrusão das paredes da cela.
- Figura 56. Igreja de São Sebastião: à esquerda, fotografia do interior da nave, lado Sul; à direita, parte do alçado do interior da nave, colocando em evidência relação entre a altura das paredes das capelas laterais e da nave.
- Figura 57. Igreja de Sant'Andrea: à esquerda, fotografia (Johnson, 1975, p. 134) do interior da nave, lado Sul; à direita, parte do alçado do interior da nave, colocando em evidência relação entre a altura das paredes das capelas laterais e as paredes da nave.
- Figura 58. Vista axonométrica de esquema de extrusão das paredes das capelas.
- Figura 59. Esquema da proto-coluna, simplificando a representação das suas partes (capitel, fuste e base).
- Figura 60. Esquemas para o delineamento do pedestal. Os esquemas são idênticos, mas ilustrados com dimensões das respectivas variáveis, ilustrando duas hipóteses. À esquerda, a largura do dado ( $w_{dado}$ ) é igual à largura do plinto da base da colunas ( $w_{bas}$ ) e as dimensões do cimácio e soko do pedestal corresponde a  $1/5$  da altura da base. À direita, o pedestal tem proporções mais "sólidas", em que  $w_{dado} = 9/8 w_{bas}$  e  $h_{dado} = 6/5 w_{dado}$ .
- Figura 61. À esquerda, vista de entablamento segmentado nas suas partes (arquitrave, trave e cornija). À direita, esquema do proto-entablamento, simplificando a representação das suas partes num volume trapezoidal
- Figura 62. À esquerda, frontão segmentado nas suas partes. À direita, esquema do proto-frontão, simplificando a geometria inicial.
- Figura 63. À esquerda, esquema representativo da adição de cobertura em abóbada de alvenaria (em degraus). À direita, esquema representativo da adição de cobertura de duas águas.

- Figura 64. À esquerda, esquema geral das partes que compõem o ornamento das portas. Do lado direito, ilustram-se esquematicamente as proporções relativas aos gêneros de portas preconizadas por Alberti, Dórica, Jónica e Coríntia, respetivamente
- Figura 65. *Regra 20. Adição de porta de entrada*
- Figura 66. À esquerda, esquema geral das partes que compõem o pórtico e a porta. Do lado direito, plantas ilustrativas do posicionamento das colunas, relativamente à parede.
- Figura 67. À esquerda, esquema geral das partes que compõem o ornamento das janelas termais. Do lado direito, ilustram-se esquematicamente as proporções relativas aos gêneros Dórico, Jónico e Coríntio.
- Figura 68. À esquerda, esquema geral das partes que compõem o ornamento dos nichos. Do lado direito, ilustram-se esquematicamente as proporções relativas aos gêneros Dórico, Jónico e Coríntio.
- Figura 69. Em cima. Fotografia da frontaria da Igreja de San Pancrazio, na sua configuração actual.
- Figura 70. À direita. Alçado e planta esquemáticas de pórtico de arquivada, na ligação de capela à nave, conforme descrições do Livro VII, cap.10.
- Figura 71. Derivação de um edifício sagrado conforme descrições do *De re aedificatoria*, pela aplicação passo a passo de regras de forma da GF<sub>A</sub>. Derivação referente à gramática de vista axonométrica, *Regra 1 a Regra 8*.
- Figura 72. Derivação de um edifício sagrado conforme descrições do *De re aedificatoria*, pela aplicação passo a passo de regras de forma da GF<sub>A</sub>. Derivação referente à gramática de vista axonométrica, *Regra 9 a Regra 15*.
- Figura 73. Derivação de um edifício sagrado conforme descrições do *De re aedificatoria*, pela aplicação passo a passo de regras de forma da GF<sub>A</sub>. Derivação referente à gramática axonométrica, *Regra 16* até alcançar a solução final.
- Figura 74. Estrutura recursiva da GF<sub>A</sub> assinalando a sequência de aplicação das regras para a derivação da solução ilustrada nas Figura 71 a Figura 73.
- Figura 75. Estrutura recursiva da GF<sub>A</sub> assinalando a sequência de aplicação das regras para a derivação da solução ilustrada nas Figura 71 a Figura 73.
- Figura 76. representa a árvore de derivações correspondente às regras do *Estágio 1. Composição Interna do Edifício*.
- Figura 77. Plantas esquemáticas da localização de pórticos no perímetro da cela, assinalando-se as composições planimétricas que podem albergar a respetiva configuração de pórtico(s). As linhas mais espessas de cor cinzenta indicam fachadas com pórticos adossados. As áreas sombreadas a cinzento indicam áreas para implantação de pórticos soltos.
- Figura 78. À esquerda, interface gráfico do *Grasshopper*, apresentando a estrutura base do MCP<sub>A</sub>. À direita, interface gráfico do *Rhinoceros*, apresentando a solução gerada em função dos parâmetros definidos em *Grasshopper*.
- Figura 79. À esquerda, módulo computacional para a definição das aberturas das capelas laterais quando  $N_{cl} > 1$ . Assinala-se o *component* de editor de *script* de *Python*. À direita, API do editor de *script* de *Python*, com código para a definição das dimensões das aberturas das capelas laterais e ossaturas entre as aberturas. O código faz um ciclo iterativo de cálculo para cada uma das capelas laterais, neste caso tratam-se de 3 pares de capelas, pelo que são calculados 7 dimensões, do índice 0 a 1, corresponde a primeira ossatura, de 1 a 2, a abertura da primeira capela, de 2 a 3, a segunda ossatura e, assim sucessivamente.
- Figura 80. Vista global do MCP<sub>A</sub> e exemplo de uma solução de projeto.
- Figura 81. Extratos do MCP<sub>A</sub> no ambiente do GH. Ilustra-se a relação entre o módulo computacional para controlo da proporção da cela e o módulo de geração do perímetro interno da cela.
- Figura 82. Fluxo de controlo dos parâmetros específicos do pórtico e sistema de colunas.
- Figura 83. Três soluções geradas pela implementação da GF<sub>A</sub> num modelo computacional paramétrico. As três soluções demonstram variações na morfologia e proporções.
- Figura 84. Amostra do universo de soluções pela implementação da GF<sub>A</sub> num modelo computacional paramétrico.
- Figura 85. Cronologia das principais obras construídas de Alberti.
- Figura 86. Rimini, Frontaria do Templo Malatestiano.
- Figura 87. Rimini, Arco de Augusto, c.72 BC. Fotografia de Robert Tavernor, fonte: (Tavernor R. W., 1998, p. 52).
- Figura 88. Reverso da medalha de Sigismondo Malatesta, comemorativa do Templo Malatestiano. Atribuída a Matteo de' Pasti, datada de 1450, 40mm de diâmetro. Fonte: (Borsi, 1986, p. 95).
- Figura 89. Maquetes de madeira representando a pretensa proposta de Alberti para o Templo Malatestiano. Maquetes construídas pelo *Alberti Group* para a exposição *Leon Battista Alberti*, Palazzo Te, Mântua, 1994.. Fotografias atribuídas a Giovetti, fonte: (Tavernor R. W., 1998, p. 61).
- Figura 90. (À esquerda) Roma, Coliseu, detalhe da arcada, fonte: (Grassi, 2015, p. 35). (À direita) Rimini, T. Malatestiano, vista de pormenor da arcada da fachada lateral (Oeste).
- Figura 91. Planta do T. Malatestiano sobrepondo a intervenção atribuída a Alberti (paredes a sombreado), ao traçado gótico existente, igreja de San Francesco (século XIII) e extensão da cabeceira realizada depois do século XVIII (paredes com trama) e, projeção da hipotética implantação da capela-mor da *Santissima Annunziata* (Florença) na cabeceira do templo (linhas a tracejado). Fonte do desenho base: (Tavernor R. , 1998, p. 56 e 72).

- Figura 92. (À esquerda) Mântua, fotografia da frontaria de San Sebastiano na década de 1920 antes das obras de restauro, fonte: (Borsi, 1986, p. 149). (À direita) Mântua, fotografia da frontaria de San Sebastiano na situação atual.
- Figura 93. Antonio Labacco, esboço de planta e alçado com anotações de dimensões de San Sebastiano, fonte: (Tavernor R. W., 1998, p. 129).
- Figura 94. Maquetes de madeira representando a pretensa proposta de Alberti para o Templo Malatestiano. Maquetes construídas pelo *Alberti Group* para a exposição *Leon Battista Alberti*, Palazzo Te, Mântua, 1994.. Fotografias atribuídas a Giovetti, fonte: (Tavernor R. W., 1998, p. 129).
- Figura 95. Planta de San Sebastiano., fonte: do desenho base (Tavernor R. , 1998, p. 137).
- Figura 96. Vista lateral do Arco de Orange, Giuliano da Sangallo, fonte: (Borsi, 1986, p. 148).
- Figura 97. Mântua, fotografia do interior de San Sebastiano, fonte: (Borsi, 1986, p. 160).
- Figura 98. À esquerda, planta de Sant'Andrea, Ernst Ritscher, 1899, fonte: (Johnson, 1975, p. 132). À direita, planta de Sant'Andrea na versão sem transepto, conforme atribuída a Alberti. Fonte do desenho base: (Olivetti/Alberti Group, 1998; Tavernor R., 1998, p. 185).
- Figura 99. Plantas de Sant'Andrea, na versão sem transepto, da Basílica de Maxêncio e do Templo de Salomão, todas na mesma escala, fonte: (Tavernor R. , 1998, p. 178).
- Figura 100. Rimini, fotografia do interior da nave de Sant'Andrea, com vista para a cabeceira, fonte: fonte: (Johnson, 1975, p. 140).
- Figura 101. Rimini, frontaria de Sant'Andrea.
- Figura 102. Roma, ruínas da Basílica de Maxêncio, fonte: (Rossano, 2011).
- Figura 103. Mântua, vista aérea Nordeste de Sant'Andrea, de fonte: (Johnson, 1975, p. 136).
- Figura 104. Desenho de Cesare Pedemonte da fachada Este da nave de Sant'Andrea. Este desenho é anexo a uma carta de 3 de Dezembro de 1580 (Mantua, Arquivo Gonzaga, F.111.8, b.2611). Fonte: (Johnson, 1975, p. 138)
- Figura 105. Simulação de gráfico de dispersão, onde observam-se as diferentes variáveis que compõe a equação que define a linha de regressão.
- Figura 106. Exemplos de dois gráficos de dispersão. No gráfico da esquerda, as variáveis independentes (Xi) detém uma maior capacidade explicativa das variáveis dependentes (Y) do que o gráfico da direita, onde verifica-se uma maior dispersão de pontos.
- Figura 107. Análise de proporções da planta do Templo Malatestiano, sobrepondo a intervenção atribuída a Alberti (paredes a sombreado), ao traçado gótico existente, igreja de San Francesco (Séc. XII) e extensão da cabeceira realizada depois do século XVIII (paredes com trama) e, projeção da hipotética implantação da capela-mor da *Santissima Annunziata* (Florença) na cabeceira do templo (linhas a tracejado). Fonte do desenho base: (Tavernor R. , 1998, p. 56 e 72).
- Figura 108. Derivação da solução de projeto da GF<sub>A</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma – da solução de maior afinidade com Templo Malatestiano. Derivação referente à gramática de vista em planta, e restrita à capacidade gerativa do *Estágio 1* ao *Estágio 3*.
- Figura 109. Sobreposição da planta do Templo Malatestiano - na versão considerada para o nosso estudo, com planta gerada pela GF<sub>A</sub> (a vermelho).
- Figura 110. Análise da de proporções da planta de San Sebastiano. Análise da relação da proporção da abertura da capela-mor relativamente à largura da cela ( $\sqrt{1} : \sqrt{3}$ ). Fonte: do desenho base (Tavernor R. , 1998, p. 137).
- Figura 111. Derivação da solução de projeto da GF<sub>A</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma – da solução de maior afinidade com San Sebastiano. Derivação referente à gramática de vista em planta, e restrita à capacidade gerativa do *Estágio 1* ao *Estágio 3*.
- Figura 112. Sobreposição da planta de San Sebastiano na versão considerada para o nosso estudo, com planta gerada pela GF<sub>A</sub> (a vermelho).
- Figura 113. Análise de proporções de Sant'Andrea (planta) na versão sem transepto, conforme atribuída a Alberti. Fonte do desenho base: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).
- Figura 114. Derivação da solução de projeto da GF<sub>A</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma – da solução de maior afinidade com Sant'Andrea. Derivação referente à gramática de vista em planta, e restrita à capacidade gerativa do *Estágio 1* ao *Estágio 3*.
- Figura 115. Sobreposição da planta de Sant'Andrea - na versão considerada para o nosso estudo, com planta gerada pela GF<sub>A</sub> (a vermelho).
- Figura 116. Planta do Templo Malatestiano com estudo de relação proporcional da abertura das capelas com a ossatura das paredes. Fonte da planta do base do T. Malatestiano: (Tavernor R. , 1998, p. 56 e 72).
- Figura 117. Planta do Templo Malatestiano com análise de proporções da espessura das paredes da cela. Fonte da planta do base do T. Malatestiano: (Tavernor R. , 1998, p. 56 e 72).
- Figura 118. Planta do Templo Malatestiano com análise de proporções do pórtico, nomeadamente, das colunas e intercolúnios. Fonte da planta do base do T. Malatestiano: (Tavernor R. , 1998, p. 56 e 72).

- Figura 119. *Regra 2'. Abertura de vestibulo junto da frontaria.*
- Figura 120. Planta de San Sebastiano, estudo de relação proporcional da abertura das capelas com a ossatura das paredes. Fonte da planta base de *San Sebastiano* (Tavernor R. , 1998, p. 137).
- Figura 121. *Regra 5c. Delineamento de vestibulo junto da frontaria.*
- Figura 122. Planta de San Sebastiano com análise de proporções da espessura das paredes da cela e capelas, bem como, adição de corpo relativo a vestibulo junto da frontaria. Fonte da planta base de *San Sebastiano* (Tavernor R. , 1998, p. 137).
- Figura 123. *Regra 6b. Delineamento das paredes do vestibulo retangular junto da frontaria.*
- Figura 124. Planta de San Sebastiano onde assinala-se a vermelho os compartimentos anexos ao vestibulo de entrada e pórtico. Estes compartimentos dão continuidade ao volume do pórtico até à parede limite da cela. Fonte da planta base de *San Sebastiano* (Tavernor R. , 1998, p. 137).
- Figura 125. *Regra 7b'''. Ligação de paredes entre vestibulo e frontaria.*
- Figura 126. *Regra 8d'. Localização do pórtico: Solto da frontaria com vestibulo saliente.*
- Figura 127. Planta de San Sebastiano com análise de proporções do pórtico, nomeadamente, as colunas e intercolúnios. Fonte da planta base de *San Sebastiano*: (Tavernor R. , 1998, p. 137).
- Figura 128. Ilustração das proporções presentes no delineamento das capelas laterais, ossaturas e antecâmaras situadas entre as capelas laterais de Sant'Andrea. Representação em vista parcial de alçado interior (Sul) e extrato da planta de Sant'Andrea focando-se num tramo representativo das capelas laterais e compartimentos contíguos. Fonte da planta base de Sant'Andrea: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).
- Figura 129. Planta de Sant'Andrea ilustrando o sistema de proporções implícitos aos compartimentos de ligação das capelas laterais ao tardo e frontaria. Fonte da planta base de Sant'Andrea: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).
- Figura 130. *Regras 7b'. Ligação de capelas laterais retangulares ao tardo.*
- Figura 131. *Regras 7b''. Ligação de capelas laterais retangulares à frontaria.*
- Figura 132. Extrato da planta de Sant'Andrea ilustrando o sistema de proporções implícitos às antecâmaras de ligação de capelas laterais. Fonte da planta base de Sant'Andrea: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).
- Figura 133. *Regra 7f'. Ligação entre capelas laterais retangulares não justapostas.*
- Figura 134. Extrato da planta de Sant'Andrea (parte frontal) ilustrando inferência do sistema de proporções presentes no pórtico de frontaria. Fonte: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).
- Figura 135. Extrato da planta de Sant'Andrea (parte frontal) ilustrando inferência do sistema de proporções presentes no pórtico de frontaria. Fonte: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).
- Figura 136. À esquerda, *Regra 9'a. Transformação de coluna em pilastra.* Ao centro, *Regra 9'b. Incorporação de parede entre pilastras da mesma colonata.* À direita, *Regra 9'c. Incorporação de parede entre pilastras de diferentes colonatas.*
- Figura 137. Estrutura recursiva da GF<sub>AE</sub>. As regras com sombreado a cinza clara sofreram mudanças. As regras a sombreado com contorno a linha grossa correspondem a novas regras. As linhas espessas representam novos elementos no diagrama.
- Figura 138. Derivação de solução de projeto da GF<sub>AE</sub>, pela aplicação passo a passo de regras de forma – da solução de maior afinidade com Sant'Andrea.
- Figura 139. Continuação da Figura 138. Derivação de solução de projeto da GF<sub>AE</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma, da solução de maior afinidade com Sant'Andrea.
- Figura 140. Sobreposição da planta de Sant'Andrea com planta gerada pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho).
- Figura 141. Série tipológica de plantas-modelo de igrejas Jesuítas, atribuído a Giovanni De Rosis (c.1580). Propriedade da *Biblioteca Estense*, Modena. Fonte: (Wittkower & Jaffe, 1972, p. 4b).
- Figura 142. Planta de projeto para *Il Gesù*, Roma (c. 1550), não realizado, possivelmente de Nanni di Baccio Bigio. Propriedade da *Galleria degli Uffizi*, Florença. Fonte: (Wittkower & Jaffe, 1972, p. 7b).
- Figura 143. Planta de *Il Gesù*, Roma (1568), atribuída a Giacomo Vignola. Fonte: (Wittkower & Jaffe, 1972, p. 8).
- Figura 144. Planta da igreja de São Roque. Fonte do desenho base: (Pais & Mantas, 2010).
- Figura 145. Planta da igreja do Espírito Santo, Évora. Fonte do desenho base: (Jared Fantasia, Departamento de Arquitectura, Universidade de Évora).
- Figura 146. Lisboa, frontaria da igreja de São Roque.
- Figura 147. Évora, frontaria da igreja do Espírito Santo. Fonte: (Oliveira T. , 2014, p. 124).
- Figura 148. Lisboa, vista panorâmica do interior da igreja de São Roque.
- Figura 149. Évora, interior da igreja do Espírito Santo. Fonte: Courtauld Institute of Art.
- Figura 150. Évora, interior da igreja do Espírito Santo, vista do coro alto. Fonte: (Oliveira T. , 2014, p. 124).

- Figura 151. Planta da igreja de São Lourenço, Porto. Desenho do autor, a partir de desenho do Sistema de Informação para o Património Arquitectónico.
- Figura 152. Porto, vista panorâmica do interior da igreja de São Lourenço. Fonte: SIPA, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana.
- Figura 153. Porto, frontaria da igreja de São Lourenço. Fonte: SIPA, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana.
- Figura 154. Porto, igreja de São Lourenço, vista da nave, direcção da cabeceira. Fonte: SIPA, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana.
- Figura 155 e Figura 156. Lisboa, frontaria e interior da nave da igreja de S. Vicente de Fora, fotografias de Mário Novais. Fonte: (Kubler, 2005, foto. 45-46).
- Figura 157. Planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa. Fonte: projeto Alberti Digital.
- Figura 158. Análise de proporções da planta da igreja de São Roque. À esquerda, planta ilustrativa das proporções das partes constituintes da composição interna da igreja. À direita, planta e esquema ilustrativo das proporções do primeiro tramo da cela (sob o coro alto), abertura da capela-mor, abertura das capelas laterais, e respetiva ossatura. Fonte do desenho base: (Pais & Mantas, 2010).
- Figura 159. Corte longitudinal da igreja de São Roque, assinalando a área correspondente à nave não considerando o tramo inicial, onde se situa o coro alto, nem a abertura de capelas. Fonte: (Oliveira, 2014, p. 150).
- Figura 160. Extrato da planta de São Roque, relativo ao tramo inicial da nave e frontaria. Análise das proporções das partes constituintes do pórtico. Fonte do desenho base: (Pais & Mantas, 2010).
- Figura 161. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> — pela aplicação passo a passo de regras de forma — com maior afinidade com a atual planta da igreja de São Roque.
- Figura 162. Sobreposição da atual planta da igreja de São Roque, com planta gerada pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho).
- Figura 163. Análise de proporções das partes constituintes da composição interna da planta da igreja do Espírito Santo, Évora. À esquerda, análise considerando a amplitude máxima da cela. À direita, análise da cela sem o tramo do falso transepto.
- Figura 164. Extrato da planta da igreja do Espírito Santo, relativo à cabeceira. Análise das proporções da capela-mor e nichos que ladeiam o alçado interior da cabeceira.
- Figura 165. Extrato da planta da igreja do Espírito Santo, relativo à cabeceira. Análise das proporções implícitas à abertura e profundidade das capelas laterais. À esquerda inferem-se proporções relativas à abertura das capelas laterais e braços transversos. À direita, inferem-se proporções relativas à largura do espaço interno das capelas laterais e braços transversos.
- Figura 166. Frontaria da igreja do Espírito Santo, Évora, representada em alçado e num extrato da planta da igreja. À esquerda, ilustra-se a análise das proporções das partes constituintes do pórtico da galilé. À direita, a análise das proporções dos componentes do pórtico adossado ao plano recuado da frontaria.
- Figura 167. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> — pela aplicação passo a passo de regras de forma — com afinidades relativamente à planta da igreja do Espírito Santo.
- Figura 168. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> — pela aplicação passo a passo de regras de forma — com afinidades relativamente à planta da igreja do Espírito Santo.
- Figura 169. Sobreposição da planta da igreja do Espírito Santo com plantas geradas pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho). À esquerda, *Solução A* com três pares de capelas laterais. À direita, *Solução B* com cinco pares de capelas laterais pela adaptação das condições da *Regra 3. Abertura de capelas laterais*.
- Figura 170. Análise da planta da igreja de São Lourenço, Porto. À esquerda, análise de proporções das partes constituintes da composição interna. À direita, análise das proporções da capela-mor, abertura de braços transversos e abertura de capelas nas laterais.
- Figura 171. Extrato da planta da igreja de São Lourenço, Porto. Análise da espessura das paredes.
- Figura 172. Extrato da planta da igreja de São Lourenço, Porto. Análise das proporções do pórtico.
- Figura 173. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> com maior afinidade com a atual planta da igreja de São Lourenço.
- Figura 174. Sobreposição da planta da igreja de São Lourenço, Porto, com planta gerada pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho).
- Figura 175. Análise da planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa. À esquerda, análise de proporções das partes constituintes da composição interna. À direita, análise das proporções da capela-mor, abertura de braços transversos e abertura de capelas nas laterais.
- Figura 176. Extrato da planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa, representativo dos tramos iniciais. Análise da espessura das paredes.
- Figura 177. Extrato da planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa, relativo à frontaria. Em cima, análise das proporções das partes constituintes do pano central do pórtico. Em baixo, análise das proporções das partes constituintes dos panos laterais do pórtico.
- Figura 178. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> com maior afinidade com a planta da igreja de São vicente de Fora.
- Figura 179. Sobreposição da planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa, com planta gerada pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho).

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Elenco dos 10 livros constituintes do *De re aedificatoria* em paralelo com os livros constituintes do tratado de Vitruvius, o *De architectura*.
- Tabela 2. Diferentes tipos de gramáticas de forma e tipos de restrições usados na sua definição. Diagrama adaptado de: (Knight T. W., 1999, p. 17)
- Tabela 3. Correspondência do valor harmônico das consonâncias musicais à terminologia e valor aritméticos.
- Tabela 4. Correspondência entre consonâncias musicais e áreas dos edifícios.
- Tabela 5. A sombreado assinalam-se as gramáticas que fazem a gestão da derivação de soluções. Até ao estágio 4. a gramática desenvolve-se sobretudo ao nível planimétrico. Nos estágios subsequentes, todas as gramáticas interagem para a geração da solução final.
- Tabela 6. Enumeração e descrição breve das regras de forma do estágio 1.
- Tabela 7. Profundidade dos pórticos, tendo em consideração a sua localização e disposição relativamente às paredes
- Tabela 8. Síntese das alturas dos componentes para a sistematização da coluna e pórtico, na razão do diâmetro da coluna.
- Tabela 9. Processo de cálculo das diferentes dimensões que um pedestal pode tomar quando suporta uma base dórica.
- Tabela 10. Processo de cálculo das diferentes dimensões que um pedestal pode tomar quando suporta uma base jónica.
- Tabela 11. Síntese das alturas do entablamento e cornija, na razão do diâmetro da coluna.
- Tabela 12. Síntese das alturas dos componentes para a sistematização da coluna e pórtico, na razão do diâmetro da coluna.
- Tabela 13. Parâmetros e condições utilizados ao longo *Estágio 1 : Composição interna*.
- Tabela 14. Parâmetros e condições utilizados ao longo *Estágio 2 : Delineamento de paredes*.
- Tabela 15. Parâmetros e condições utilizados ao longo *Estágio 3 : Delineamento do pórtico*.
- Tabela 16. Parâmetros e condições utilizados ao do longo *Estágio 4 : Extrusão de paredes* na derivação.
- Tabela 17. Parâmetros e condições utilizados ao do longo *Estágio 5 : Adição de Pórtico(s)*.
- Tabela 18. Parâmetros e condições utilizados ao do longo *Estágio 6: Adição de Coberturas*.
- Tabela 19. Parâmetros e condições utilizados ao do longo *Estágio 7 : Adição de Aberturas*.
- Tabela 20. Cálculo do universo de soluções até ao *Estágio 3. Delineamento do Pórtico*.
- Tabela 21. Lista de *rations* ( $\mu_i$ ) para o cálculo da altura do paramento interior das paredes da cela ( $h_{wi} = \mu_j w_i$ ;  $i \in N$ ) e número de variações para proporção da cela ( $n_{hi}$ ).
- Tabela 22. Contabilização da variações de soluções no *Estágio 4*.
- Tabela 23. Cálculo do universo de soluções concatenando as variações do *Estágio 1. e Estágio 4. Extrusão de paredes*.
- Tabela 24. Cálculo do universo de soluções até ao *Estágio 4. Extrusão de paredes*
- Tabela 25. Cálculo do universo de variações específicas do *Estágio 7. Abertura de paredes*
- Tabela 26. Cálculo do universo de soluções até ao *Estágio 7. Abertura de paredes*
- Tabela 27. Síntese da estimativa do número de soluções em cada estágio de derivação.
- Tabela 28. Sumário de características morfológicas e proporcionais das partes do Templo Malaetiano, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria*, relativa à planta da igreja.
- Tabela 29. Lista de valores inferidos do tratado (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes no T. Malaetiano (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de T. Malaetiano. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões do T. Malaetiano para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.
- Tabela 30. Sumário de características morfológicas e proporcionais das partes da igreja de São Sebastiano, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria*, relativa à planta da igreja.
- Tabela 31. Lista de valores inferidos do tratado (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes em San Sebastiano (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de San Sebastiano. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões de San Sebastiano para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.
- Tabela 32. Sumário de características morfológicas e proporcionais das partes da igreja de Sant'Andrea, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria*, relativa à planta da igreja.
- Tabela 33. Lista de valores inferidos do tratado (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes em Sant'Andrea (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II).

Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões de Sant'Andrea para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.

- Tabela 33. Sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja de São Roque, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.
- Tabela 34. Sumário das proporções do pórtico da frontaria da igreja de São Roque, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.
- Tabela 35. Lista de valores inferidos do tratado e corpus de obra edificada de Alberti (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes em São Roque (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões de São Roque para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>. 294
- Tabela 36. Sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja do Espírito Santo, pouco protuberante lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.
- Tabela 37. Continuação da Tabela 36, sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja do Espírito Santo, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.
- Tabela 38. Lista de valores inferidos do tratado e corpus de obra edificada de Alberti (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes na igreja do Espírito Santo (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões da igreja do Espírito Santo para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.
- Tabela 39. Sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja de São Lourenço, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.
- Tabela 40. Sumário de características do pórtico planta da igreja de São Lourenço, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti. 314
- Tabela 41. Lista de valores inferidos do tratado e corpus de obra edificada de Alberti (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes na igreja de São Lourenço (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões da igreja de São Lourenço para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.
- Tabela 42. Sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja de São Vicente de Fora, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.
- Tabela 43. Sumário de características proporcionais do pórtico da igreja de São Vicente de Fora, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.
- Tabela 44. Lista de valores inferidos do tratado e corpus de obra edificada de Alberti (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes na igreja de São Vicente de Fora (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões da igreja de São Vicente de Fora para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.
- Tabela 45. Resultados obtidos no estudo (por MRLS) do grau de correlação dos números e proporções presentes na GF<sub>AE</sub> com os números e proporções inferidos das plantas de igrejas representativas da arquitetura portuguesa no período da Contrarreforma.

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da  $GF_A$  no Templo Malatestiano.
- Gráfico 2. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da  $GF_A$  em San Sebastiano.
- Gráfico 3. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da  $GF_A$  em Sant'Andrea.
- Gráfico 4. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da  $GF_{AE}$  na igreja de São Roque, Lisboa.
- Gráfico 5. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da  $GF_{AE}$  na igreja do Espírito Santo, Évora.
- Gráfico 6. Gráfico de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da  $GF_{AE}$  na igreja de São Lourenço, Porto.
- Gráfico 7. Gráfico de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da  $GF_{AE}$  na igreja de São Vicente de Fora, Lisboa.



# 1. Introdução



## 1.1. Tema e Problemática

A presente tese desenvolve uma investigação que cruza duas áreas de conhecimento tradicionalmente distantes: as tecnologias digitais e a História da Arquitetura. Abordando a utilização de modelos computacionais em arquitetura, enquanto ferramentas de concepção e análise de projeto, este estudo centra-se no escrutínio do impacto cultural do *De re aedificatoria* de Leon Battista Alberti (1485) — os dez livros que compõem o tratado constituem um dos mais influentes textos da arquitetura da Renascença — e da sua obra edificada na Arquitetura Clássica portuguesa, nomeadamente em igrejas edificadas no período da Contrarreforma (séculos XVI-XVII) .

Rafael Moreira (1995, p. 399) sugere que no século XVI, por iniciativa de D. João III, o *De re aedificatoria* foi traduzido para português por André Resende (c.1500-1573). Este manuscrito ter-se-á perdido dificultando a confirmação da veracidade deste facto, mas o influxo do tratado e arquitetura de Alberti na área de influência portuguesa<sup>1</sup>, terá ocorrido pela difusão da cultura do Renascimento fora de Itália, influenciando os modelos estilísticos das igrejas portuguesas desse período.

Não sendo consensual a existência de uma arquitetura da Renascença portuguesa — Reynaldo dos Santos (1968-70, p. 175) sugere que o Renascimento é um estilo de estrangeiros sem implicações no desenvolvimento da arquitetura portuguesa e, Pais da Silva (1992a, p. 235) entende ter existido uma transição direta do Manuelino para um “Maneirismo de cariz internacional (soluções serlianas, palladianas, etc.) e mais tarde de raiz autóctone (edifícios jesuítas e programas por estes influenciados)” — Moreira (1991, 1995) contrapõem estes aumentos ao estudar as Comissões Reais entre o Manuelino e o Maneirismo identificando cento e cinquenta edifícios que podem ser considerados como pertencentes à esfera do Renascimento.

A influência do cânone albertiano na arquitetura portuguesa — referida por autores como Paulo Varela Gomes ou Paulo Pereira — e apesar da falta de evidências documentais que a verifiquem, é a hipótese central desta investigação, que pretende contribuir com ferramentas computacionais à determinação da extensão de tal influência.

As gramáticas de forma são modelos computacionais que se baseiam no uso de regras pré-definidas para a geração de formas (Stiny & Gips, 1972). Uma das aplicações destes modelos centra-se na investigação de tipologias arquitetónicas através da inferência de desvios de parâmetros numa série de regras comuns de um *corpus* de projetos.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Não obstante a impossibilidade de se comprovar a existência da tradução de André Resende, o levantamento de Ana Duarte Rodrigues (2011, pp. 25-26) das edições do *De re aedificatoria* publicadas nos séculos XV e XVI existentes em Portugal nesse período, contabiliza a presença de pelo menos oito edições, revelando uma receção relevante do tratado no país. Assinala-se a existência de um exemplar da primeira edição, publicada por Nicolai Laurentii Alamani em 1485 (Florença), na Biblioteca Nacional de Portugal. Já publicados no século XVI, enumeram-se as edições em latim de Berthold Rembolt (Paris, 1512) e Giacomo Cammerlander (Estrasburgo, 1541), em vulgar as edições de Pietro Lauro (Veneza, 1546) e Cosimo Bartoli (Veneza, 1565) e, em castelhano a edição de Francisco Lozano (Madrid, 1582), já na altura da presença de Juan de Herrera em Portugal. A este propósito consultar ainda o artigo de Krüger (2015): *A Relevância do De re aedificatoria na Herança Disciplinar da Arquitectura Clássica em Portugal: A Influência da Obra Escrita de Alberti*.

<sup>2</sup> Conforme analisado no subcapítulo 2.2.4 *Gramáticas de forma e linguagem de projeto*, trata-se de um método não-determinístico, uma vez que podem ser aplicadas várias regras, de vários modos.

A utilização de gramáticas de forma neste tipo de estudos é iniciada por George Stiny e William Mitchell (1978) com a construção da *Palladian Grammar*, inferida do *corpus* de *villas* que Palladio apresenta em *Quattro Libri* (1570) e através da qual foi possível determinar a presença da linguagem da gramática em projetos não descritos nesse tratado.

De modo complementar, Terry Knight propõe a ideia de transformações estilísticas (1983a; 1983b; 1983c)<sup>3</sup> segundo as quais a transformação de um estilo noutra pode ser explicada pela alteração da gramática subjacente ao primeiro estilo, na gramática subjacente ao segundo. As transformações de gramáticas de forma são, assim, ferramentas complementares a usar pelos historiadores de arquitetura para aferir hipóteses levantadas a partir de provas documentais.

Em suma, o objectivo desta tese é compreender o modo como modelos computacionais, mais especificamente as gramáticas de forma, podem auxiliar à explicitação de uma discussão de raiz histórica.

## 1.2. Questão e Hipótese

No artigo *20 years of scripted space*, Malcolm Mc Cullough (2006) refere que numa metodologia de projeto tradicional, os arquitetos recorrem à racionalização do processo de desenho ao usarem instruções e regras bem definidas, as quais, se traduzidas em algoritmos, podem ser suficientemente operativas para se desenvolverem por si só. A utilização de modelos computacionais como instrumentos auxiliares à geração de soluções de projeto passa pela integração desta metodologia pelo recurso a elementos simbólicos e a capacidade de abstração.

Esta tese parte do pressuposto que o *De re aedificatoria* é um exemplo computacional paradigmático. Escrito em latim, sem quaisquer algarismos nem ilustrações, define um conjunto de relações algorítmicas – números, sistemas de proporções e condições (*numerus*) – que regulam a delimitação (*finitio*) e a justa disposição (*collocatio*) das partes que compõem os edifícios (os descritores da edificatória) cuja finalidade é construir princípios arquitectónicos inteligíveis<sup>4</sup>.

A natureza computacional do tratado de Alberti é explícita nos princípios para o delineamento da composição espacial dos templos (Alberti, VII, 4), resultantes da transformação da basílica romana, sendo regulados por um conjunto de prescrições para as proporções dos compartimentos internos (cela, capela-mor e capelas laterais), bem como de um sistema de relações de dependência entre as dimensões de cada uma das partes, a sua disposição e geometria. Por exemplo, o número, dimensão e posição das capelas laterais são condicionadas pelas proporções e geometria da cela e capela-mor. Ou ainda, a adição de pórticos nos templos (Alberti, VII, 5), cuja disposição e dimen-

---

<sup>3</sup> ‘Transformations in Design’ no original em inglês, aqui traduzido como transformações estilísticas, atendendo à ideia subjacente de explicar a evolução dos estilos em várias áreas da arte, como por exemplo, na arquitetura, na pintura, na cerâmica e nas artes decorativas, através de transformações gramaticais.

<sup>4</sup> A este propósito consultar o subcapítulo 2.1.2. *O pensamento De re aedificatoria: lógica da teoria e da prática*, em específico a secção *Regras da Teoria*.

são dependem da morfologia e dimensões do templo, bem como da sistematização da coluna<sup>5</sup> e intercolúnio (Alberti, VII, 7).

Estas relações espaciais, proporções e números, podem ser exploradas e desenvolvidas para traduzir as regras estabelecidas no tratado num sistema computacional, como inicialmente pensado por Stiny (1980, pp. 343-352) e mais recentemente desenvolvido por Duarte (2001) para o caso das casas de Siza na Malagueira em Évora, onde as gramáticas são utilizadas para personalização em série dos projetos das habitações. Outro exemplo precedente é a gramática *Yingzao fashi* desenvolvida por Andrew Li (2002) que codifica em regras os algoritmos descritos no texto e ilustrações de um manual de construção Chinês do século XII.

Neste enquadramento, questiona-se o modo como a natureza algorítmica e computacional do *De re aedificatoria* se pode traduzir em capacidade de gerar soluções de projeto dentro da linguagem albertiana, nomeadamente de edifícios sagrados de planta retangular. A resposta a esta questão centra-se na possibilidade de descodificação das regras edificatórias descritas no tratado, estabelecidas de acordo com as interpretações de Alberti sobre os cânones da Arquitetura Clássica, numa gramática descritiva (Stiny, 1981) e subsequente gramática de forma (Stiny & Gips, 1972) cuja capacidade generativa seja representativa de princípios arquitetónicos albertianos.

Outras das questões relativas à avaliação da capacidade generativa da gramática que se colocam são: É possível implementar a gramática do *De re aedificatoria* numa interpretador informático que automatize o processo generativo? Que implicações tem esse processo ao nível da adaptação das regras e da capacidade generativa?

Admite-se que o influxo albertiano no contexto português dos séculos XVI e XVII tenha ocorrido, não apenas pela circulação de edições do *De re aedificatoria* em Portugal, mas também, pelo facto de arquitetos e artistas italianos e portugueses, que trabalharam em Portugal nesse período, possam ter tido conhecimento, ou visitado, edifícios de Alberti construídos na segunda metade do século XV<sup>6</sup>.

Por este motivo, de modo a definir-se uma gramática mais representativa da influência de albertiana na arquitetura portuguesa, procedeu-se à transformação da gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular descodificada do tratado, numa gramática subsequente, que também considera regras relativas à morfologia e proporções de um *corpus* de projetos de Alberti.

Deste modo, o processo de transformação da gramática e a análise da sua capacidade generativa podem contribuir para o estudo da obra de Alberti, designadamente na procura de respostas às seguintes questões: A linguagem arquitetónica dos projetos de Alberti é explicitada no *De re aedificatoria*? É possível traçar uma evolução da linguagem arquitetónica albertiana entre o seu postula-

---

<sup>5</sup> Todas as proporções dos componentes da sistematização da coluna são dependentes do diâmetro da coluna. Complementarmente, Alberti desenvolve um sistema combinatório que separa os géneros (Dórico, Jónico, Coríntio e Compósito) de qualquer associação a tipos de edifícios específicos, podendo estabelecer-se uma combinação entre três bases, quatro capiteis três cornijas e sete frisos. A própria base Jónica pode ser pensada como uma consequência de uma forma antecedente, a base do género Dórico.

<sup>6</sup> Existem provas documentais da contratação de arquitetos e artistas italianos por patronos portugueses, bem como, de arquitetos e artistas portugueses que viajaram e estudaram em Itália, tendo inclusive trabalhado com mestres italianos (Moreira 1991, 1995; Soromenho, 1995; Branco, 2008). A este propósito ver o subcapítulo 2.3.1. *Arquitetura da renascença em Portugal*.

do teórico e edificado? Em que aspectos se dá essa evolução, isto é, é possível mapear as regras que foram alteradas, subtraídas ou adicionadas?

Similarmente, no âmbito do estudo do impacto da obra albertiana no contexto português colocam-se as seguintes questões: A linguagem arquitetónica das igrejas portuguesas, ou de um *corpus* representativo da arquitetura portuguesa desse período, é explicitada nas regras inferidas do *De re aedificatoria* e respetivos projetos de Alberti? Em que medida o cânone albertiano pode ser responsável por uma evolução estilística da arquitetura portuguesa? Em que aspectos se dá essa evolução? O formalismo implícito às gramáticas de forma e transformações de gramáticas é adequado para o mapeamento dos aspectos em que existe convergência entre o cânone albertiano e o português?

As questões enunciadas deram origem às seguintes hipóteses:

(1) Dada a natureza algorítmica do *De re aedificatoria* é possível descodificar partes do texto relativas às descrições dos edifícios sagrados de planta rectangular numa gramática de forma com capacidade de gerar soluções de projeto dentro desses cânones.

(2) Pelo recurso a métodos de análise inversa de um *corpus* de projetos de Alberti, designadamente das plantas do Templo Malatestiano, em Rimini e das igreja de San Sebastiano e Santt'Andrea em Mântua, é possível verificar a presença de regras do tratado de Alberti nestes edifícios, e ainda, aferir se o conhecimento inscrito no tratado é capaz de gerar esses edifícios. Em suma, se a obra edificada de Alberti verifica princípios arquitectónicos que o próprio prescreve no tratado.

(3) O processo de transformação gramatical, como proposto por Knight, é adequado à definição de uma gramática de forma de edifícios sagrados de planta rectangular representativa da teoria e prática de projeto albertiana.

(4) Pela análise inversa de um *corpus* de igrejas representativas da arquitetura portuguesas dos séculos XVI e XVII, é possível avaliar a presença de regras da gramática albertiana nestes edifícios, e descrever aspectos em que poderão ter influenciado a arquitetura portuguesa. A composição espacial das igrejas portuguesas em análise pode ser pensada como uma espécie de evolução das regras estabelecidas no tratado e projetos de Alberti. Concluindo-se que, a arquitetura portuguesa do período da Contrarreforma é devedora da obra teórica e construída de Alberti.

(5) O formalismo teórico inerente às gramáticas descritivas e gramáticas de forma, e subsequentes processos de transformação de gramáticas e implementação em programas informáticos, é útil ao estudo e caracterização da arquitetura portuguesa do período da Contrarreforma, bem como à compreensão da sua evolução.

### 1.3. Contribuições e Descobertas

No âmbito da introdução à tese sintetizam-se os seus quatro principais contributos que se desenvolvem mais pormenorizadamente no capítulo da conclusão.

(1) A apresentação de uma metodologia que se apoia em ferramentas computacionais para auxiliar à fundamentação do influxo do *De re aedificatoria* e da obra edificada de Alberti no contexto da arquitetura do período da Contrarreforma.

(2) Uma tradução computacional das descrições dos edifícios sagrados de planta retangular prescritas no *De re aedificatoria* pelo recurso ao formalismo das gramáticas de forma paramétricas. Este processo dá-se pela codificação em regras de forma da multiplicidade de variações tipológicas decorrentes da diversidade de números, proporções e condições que Alberti sistematiza para os múltiplos parâmetros que estão na origem do delineamento de cada uma das partes destes edifícios. Destaca-se a articulação do seu espaço interno, composto pela cela, a capela-mor e capelas laterais, e ainda, o traçado das paredes, onde se incluem os pórticos e, finalmente, a cobertura e aberturas.

(3) Uma gramática de forma para a geração de edifícios sagrados de planta retangular de acordo com a teoria e projetos albertianos. Através da análise inversa de projetos de Alberti — T. Malatestiano, igreja de San Sebastiano e igreja de Sant’Andrea — e de acordo com os parâmetros inferidos da leitura computacional prévia do *De re aedificatoria*, definiram-se um conjunto de desvios entre a obra edificada e o postulado teórico albertiano. Estes desvios permitiram transformar a gramática inicial pela adição e adaptação de regras, originando uma nova gramática que caracteriza a evolução da linguagem de projeto albertiana no âmbito dos edifícios sagrados de planta retangular.

(4) Uma leitura da composição espacial de um *corpus* de igrejas portuguesas do período da Contrarreforma a partir de princípios edificatórios albertianos. Conduziu-se uma análise inversa da morfologia e proporções das igrejas de S. Roque em Lisboa, Espírito Santo em Évora, S. Lourenço no Porto e S. Vicente de Fora em Lisboa, à luz das regras inferidas da obra teórica e construída de Alberti, resultando na identificação de aspectos em que são convergentes e divergentes. Complementou-se essa análise pela avaliação do grau de correlação entre os números e proporções explicitados no cânone albertiano e presentes nas igrejas portuguesas, determinando a capacidade explicativa do primeiro relativamente ao segundo.

Globalmente, a investigação conducente a esta tese originou as seguintes descobertas:

(1) As descrições dos edifícios sagrados do *De re aedificatoria* formulam regras com capacidade generativa.

(2) A estrutura hierárquica dos descritores da edificatória albertiana podem ser replicados num modelo computacional, traduzindo-se em capacidade generativa de projeto. O *De re aedificatoria* apresenta um sistema de segmentação e subsegmentação das partes dos edifícios e seus componentes, estabelecendo relações de interdependência formal e proporcional entre eles<sup>7</sup>. Por exemplo,

---

<sup>7</sup> Este sistema desenvolve-se segundo um conjunto de operadores teóricos, nomeadamente o *axioma edifício-corpo*, o *axioma da conceção* relativo aos descritores da edificatória — *Região, Área, Compartimentação, Paredes, Cobertura, Aberturas e Escadas* — e no *axioma da*

aos descritores da edificatória albertiana — *Região, Área, Compartimentação, Paredes, Cobertura, Aberturas e Escadas* — está implícita uma relação hierárquica e de dependência que é aplicada à descrição das partes dos edifícios sagrados. Esta sistematização pôde ser transposta para a estrutura hierárquica da gramática de forma representativa destes edifícios, em que os três primeiros estágios - dedicam-se à derivação da *Área e Compartimentação* dos edifícios e os restantes têm correspondência direta com os restantes descritores da edificatória<sup>8</sup>.

(3) As regras edificatórias e sistemas proporcionais descritos no *De re aedificatoria* têm uma forte capacidade explicativa da composição interna das igrejas de San Sebastiano e Sant'Andrea. No capítulo 4 demonstrou-se que o universo de soluções da gramática de forma representativa das prescrições do tratado para a geração de edifícios sagrados inclui projetos cujo delineamento interno, ao nível da planta, apresentam um grande grau de similaridade com as plantas de San Sebastiano e Sant'Andrea. Ficou ainda patente o elevado grau de correlação e explicitação entre as variáveis quantitativas (números e proporções) da gramática e as inferidas das plantas das igrejas albertianas de Mântua.

(4) O cânone de edifícios sagrados albertiano explicita apenas uma parte dos princípios arquitetónicos das igrejas portuguesas incluídas no *corpus* estudo de caso. Desse *corpus* a planta da igreja de São Roque é a mais divergente do universo de soluções da gramática albertiana, paradoxalmente, os números e proporções presentes no delineamento desta igreja são os que têm maior grau de correlação e explicitação no tratado e edifícios de Alberti.

## 1.4. Organização da tese

Esta tese divide-se em seis capítulos, nos quais se inclui este capítulo inicial. Neste capítulo introdutório estabelece-se um enquadramento global da temática e propósitos da tese, e ainda, a apresentação da metodologia inerente ao desenvolvimento dos estudos de caso.

O Capítulo 2 contextualiza dois dos temas centrais da tese, dando origem a dois subcapítulos.

(1) O *De re aedificatoria*, onde se apresenta uma leitura analítica dos (i) pressupostos, (ii) estrutura e (iii) princípios arquitetónicos que Alberti estabelece no tratado.

(2) *Gramáticas de forma* que aborda a literatura de referência para a caracterização de três aspectos pertinentes ao trabalho: (i) definição e ilustração dos mecanismos e formalismo das gramáticas; (ii) do seu papel enquanto ferramentas auxiliares à caracterização e estudo de linguagens de projeto; (iii) a análise de sistemas e paradigmas para a implementação de gramáticas em interpretadores computacionais.

---

*concinnitas*, ou beleza, relativo ao *numerus, finitio* e *collocatio*. A este propósito ver o subcapítulo 2.1.2. *O pensamento De re aedificatoria: lógica da teoria e da prática.*

<sup>8</sup> Os estágios da gramática são: 1. *Composição interna do edifício*, 2. *Delineamento de paredes*, 3. *Delineamento do pórtico*, 4. *Extrusão de Paredes*, 5. *Adição do Pórtico*, 6. *Adição de Cobertura(s)* e 7. *Adição de Aberturas*. À exceção da *Região e Escadas*, para as quais não foram desenvolvidas regras, os sete estágios de geração da gramática têm correspondências com os descritores da edificatória.

O Capítulo 3 apresenta o processo de inferência de uma gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, conforme descrições do *De re aedificatoria*, seguida da sua implementação num modelo computacional de funcionamento paramétrico.

Através da leitura do tratado, (1) é exposto o processo de seleção das parte onde são prescritas regras e algoritmos relativos aos edifícios sagrados, isto é, nas quais é definido o *corpus* da gramática, debatendo-se o modo como essas descrições contribuem para a formulação de regras.

(2) De seguida, é apresentado o formalismo e estrutura da gramática, bem como relatos inerentes à inferência das regras de forma que compõem cada um dos estágios de geração<sup>9</sup>.

(3) Conclui-se este capítulo com a avaliação da capacidade gerativa da gramática. Nesse âmbito (i) exemplifica-se a derivação de soluções de projeto pela sucessiva aplicação de regras, caracterizando-se e contabilizando-se o seu universo de soluções. Por último, é explicado o processo de desenvolvimento de um *pseudo*-interpretador para automatizar a geração de soluções de projeto dentro da linguagem da gramática. Esta implementação ocorre num modelo computacional de funcionamento paramétrico, analisando-se as vantagens e vicissitudes desta ferramenta.

O Capítulo 4 centra-se na transformação da gramática de forma inferida no capítulo anterior pela integração de princípios edificatórios presentes num *corpus* de edifícios sagrados construídos segundo projetos de Alberti. O capítulo relata os diferentes estágios (três) em que se desenvolve esta tarefa, cujo objectivo primeiro é a definição de uma gramática representativa de princípios da teoria e da prática albertiana.

Após uma (1) breve introdução historiográfica aos edifícios de Alberti realiza-se (2) a análise da morfologia e proporções das plantas destes edifícios, à luz das relações espaciais e proporções inferidas, com o objetivo de testar a capacidade da gramática derivar os projetos construídos. Afere-se ainda o grau de correlação entre os números e proporções presentes nestes edifícios e na gramática.

(3) Finalmente, são apresentados os trabalhos de transformação da gramática, numa segunda gramática de forma, pela adição e mudança/adaptação de regras conforme conhecimento edificatório inferido da análise de obra edificada de Alberti.

O Capítulo 5 tem como objectivo verificar o influxo dos princípios arquitetónicos da obra teórica e prática de Alberti num *corpus* de igrejas portuguesas representativas da arquitetura do período da Contrarreforma.

O capítulo é iniciado por uma breve síntese da produção da arquitetura portuguesa no período da Contrarreforma (centrada na edificação de igrejas), seguido da seleção e contextualização historiográfica das igrejas portuguesas estudo de caso deste capítulo — São Roque, Espírito Santo, São Lourenço e São Vicente de Fora. Posteriormente, é relatado o processo a avaliação analítica da gramática de forma albertiana tendo como referência estas igrejas. A cada uma delas corresponde um subcapítulo que trata os seguintes aspectos: (1) a análise da morfologia e proporções das plantas; (2) a derivação de soluções de projeto segundo os cânones albertianos que adotam como referência

---

<sup>9</sup> O conteúdo deste subcapítulo é complementado com *Anexo I. Gramática dos Edifícios Sagrados de planta retangular*.

as características das igrejas portuguesas; (3) levantamento de aspectos de convergência e divergência entre os projetos albertianos e os modelos portugueses; (4) por último, a avaliação do grau de correlação dos seus números e proporções.

No Capítulo 6 apresentam-se as conclusões da tese, bem como indicações para trabalhos futuros.

## 1.5. Metodologia

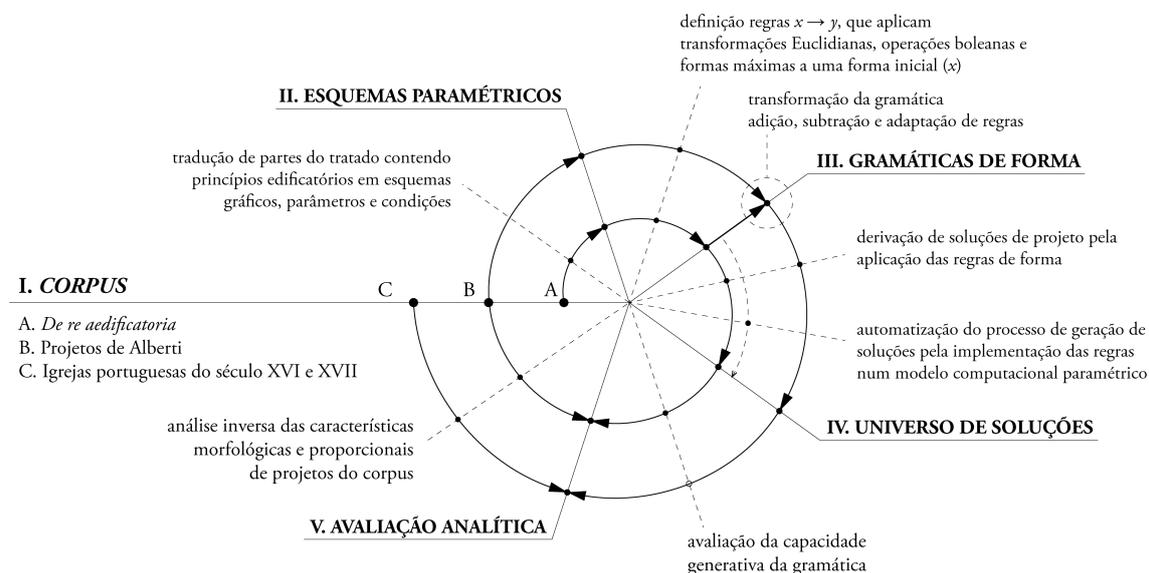


Figura 1. Diagrama síntese da metodologia adotada no desenvolvimento dos trabalhos da tese.

A Figura 1 ilustra esquematicamente a metodologia adotada no desenvolvimento dos trabalhos da tese, dividindo-se em cinco etapas que parcialmente se repetem em dois ciclos de trabalhos. O esquema reflete uma forte correlação e interdependência entre trabalhos antecedentes e precedentes, uma estratégia decorrente de uma leitura evolutiva entre a linguagem de projeto inerente ao primeiro *corpus* e aos seus sucedâneos.

Os ciclos da investigação são iniciados pela definição do (I) *corpus*. No primeiro, essa tarefa deu-se pela leitura global do tratado, com a finalidade de se compreenderem os princípios arquitetónicos da arte edificatória albertiana, mas também, para a seleção das partes do texto relativas aos edifícios sagrados de planta rectangular.

Com o propósito de se sintetizarem as características morfológicas e proporcionais desse *corpus* arquitetónico (II) esboçaram-se um conjunto de descrições compostas por esquemas gráficos representativos de relações espaciais e pela definição de parâmetros e condições que regulam o delineamento das partes destes edifícios, por este motivo, esta fase poder-se-á denominar de descritiva. Estas descrições foram compiladas numa gramática descritiva que esteve na origem das regras de forma que explicitam as relações espaciais inferidas do *corpus*.

(III) O conjunto de regras de forma foi agrupado segundo uma estrutura recursiva consentânea com os descritores da edificatória albertiana, formulando-se assim uma gramática de forma.

Seguiu-se o (IV) cálculo do universo de soluções da gramática, tendo sido adotados dois processos de derivação de soluções: pela sucessiva aplicação das regras de forma; e pela implementação da gramática descritiva e da gramática de forma num programa de computador pelo recurso a linguagens de programação visual.

Este primeiro ciclo de trabalhos encerra-se com a (V) avaliação analítica da gramática no âmbito dos projetos de Alberti. Esta tarefa teve o intuito de aferir a capacidade da gramática gerar soluções consentâneas com a obra edificada de Alberti, anotando-se aspectos convergentes e divergentes entre os dois cânones. Neste sentido, efetuaram-se duas tarefas prévias: a seleção dos edifícios de Alberti que se enquadram na tipologia e programa em estudo, formulando-se assim um segundo *corpus* composto pelo Templo Malatestiano, igrejas de San Sebastiano e de Sant'Andrea (B); bem como, a realização da análise da morfologia e proporções implícitas à composição espacial destas igrejas.

O segundo ciclo de trabalhos iniciou-se já na avaliação da gramática, uma vez que essa tarefa necessitou da definição do (I) *corpus* dos edifícios de Alberti, bem como, da análise desses edifícios, dando início à tarefa que resultou num conjunto de (II) esquemas paramétricos e descrições representativas das relações espaciais dos edifícios de Alberti. Esta tarefa permitiu identificar desvios relativamente às regras definidas no *De re aedificatoria*, culminando na (III) transformação da gramática de forma, pela adição, subtração e adaptação de regras (Knight, 1983), obtendo-se uma nova gramática que se verificou permitir a (IV) geração de plantas de edifícios sagrados de base retangular, dentro dos cânones teórico e prático de Alberti.

Tal como no primeiro, este ciclo, encerra-se com a (V) avaliação analítica da gramática albertiana, desta feita, à luz do contexto português. De igual modo, foi necessário proceder à seleção prévia dos projetos estudo de caso e à análise da morfologia e proporções presentes nas suas plantas. A estas duas tarefas associa-se um estudo mais alargado do universo de igrejas erigidas no espaço de interferência portuguesa nesse período. De facto, é um período fértil na construção de igrejas e edifícios religiosos, pelo que não se vislumbrou uma tarefa fácil a escolha dos estudos de caso a incluir na tese (a este propósito ver o subcapítulo 5.2.5. *Critérios de seleção de um corpus de igrejas portuguesas*). Com efeito, os trabalhos centrais desta tese encerram com a aferição da capacidade da gramática albertiana gerar soluções dentro do *corpus* português, bem como, a sugestão de influxos do cânone albertiano na arquitetura portuguesa e progressos da segunda.

O autor foi membro da equipa do projeto de investigação *Digital Alberti: Tradition and innovation in architectural theory and practice in Portugal*, decorrido entre 2010 e Setembro de 2013<sup>10</sup>. O plane-

---

<sup>10</sup> O projeto de investigação e desenvolvimento *Digital Alberti: Tradition and innovation in architectural theory and practice in Portugal*, esteve sediado no Centro de Estudos Sociais, de Coimbra, sendo coordenado pelo Prof. Mário Krüger (DArQ FCTUC) e pelo Prof. José Pinto Duarte (FAUL) é apoiado pela FCT e tem o n.º de referência: PTDC/AUR-AQI/108274/2008.

amento e a generalidade dos estudos de caso desenvolveram-se no seio de tarefas de investigação do projeto, sendo representativos de alguns dos contributos do autor.

A primeira publicação do *De re aedificatoria* em português, traduzida a partir do latim por Krüger e Santo, publicada em 2011, está na origem impulsionadora do projeto de investigação e foi fonte primária para os trabalhos de descodificação do tratado, tornando-se no objeto central de estudo de caso desta tese.

O levantamento de fontes bibliográficas incidiu sobre as duas áreas disciplinares em que a tese se desenvolve. Consultou-se a literatura de referência no âmbito da utilização de modelos computacionais enquanto ferramentas auxiliares de projeto em arquitetura, dando-se particular ênfase à literatura relativa ao surgimento e desenvolvimento de estudos que integram gramáticas de forma no campo disciplinar da Arquitetura. Paralelamente, consultou-se a literatura de referência da produção teórica e arquitetónica de Alberti, da tratadística da Renascença e da arquitetura Portuguesa nos séculos XVI e XVII, neste caso, incidindo sobre os projetos utilizados como estudo de caso.

Realizaram-se ainda visitas aos edifícios de Alberti construídos em Rimini, Mântua e Florença, tal como às igrejas portuguesas que serviram de estudo de caso.

De modo complementar aos trabalhos realizados no programa curricular do curso de doutoramento da Escola de Arquitetura da Universidade do Minho, frequentaram-se cursos em instituições externas à UM. No primeiro semestre de 2011, a unidade curricular de Gramáticas da Forma do curso de Doutoramento em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, lecionada pelos professores José Pinto Duarte e Luís Romão. E no segundo semestre curricular de 2012, enquanto aluno do Grupo de Computação do Departamento de Arquitetura do *Massachusetts Institute of Technology*, os cursos de *Computational Design II* (Prof. Terry Knight), *Materializing Design* (Prof. Larry Sass), *Programming Conceptions* (Prof. Takehiko Nagakura) e *Introduction to Shape Grammars II* (Prof. George Stiny). Os conteúdos curriculares destes cursos contribuíram para o desenvolvimento de competências científicas e consolidação de conhecimentos no âmbito de temas centrais da tese. Nomeadamente, na integração de sistemas computacionais no processo de projeto, enquanto ferramentas descritivas e generativas de projeto, sobretudo em gramáticas da forma, e a aprendizagem de linguagens de programação orientada a objetos.

Ao longo do desenvolvimento dos trabalhos da tese foram apresentados e publicados diversos artigos. Estes textos permitiram efetuar sínteses prévias dos trabalhos e recolher observações críticas nos momentos de apresentação pública: *Computação e síntese de projecto: modelos computacionias como instrumentos metodológicos no ensino de projecto* (Figueiredo, 2013); *Digital temples : a shape grammar to generate sacred buildings according to Alberti's theory* (Figueiredo, Castro e Costa, Duarte, Krüger, 2013); *Albertian Grammatical Transformations* (Figueiredo, Duarte, Krüger, 2013); *Interactive Tabletops for Architectural Visualization: Combining Stereoscopy and Touch Interfaces for Cultural Heritage* (Figueiredo, et alli., 2014); *Alberti Digital on Portuguese Architecture: Shape Grammar transformations as computational framework to determine the influence of Alberti legacy on Portuguese Renaissance churches* (Figueiredo, Duarte, Krüger, Sousa, 2014).

## **2. Contexto**



## 2.1. O *De re aedificatoria*

### 2.1.1. Origem, Princípios e Organização da *De re aedificatoria*

Em *La Règle et le Modèle*, Choay (1980), numa abordagem estruturalista à leitura do *De re aedificatoria*, sistematiza os seus princípios edificatórios introduzindo um conjunto de conceitos relevantes à tarefa de tradução destes princípios em regras de funcionamento computacional, bem como à definição do modo como se estruturam.

A leitura do prólogo do *De re aedificatoria* (Alberti, 2011) permite uma compreensão global tratado. Segundo Choay (1985, p. 77), Alberti divide o prólogo em três temas: o elogio à edificação, as motivações do tratado e a sua estrutura. É a partir destes temas, que neste subcapítulo se apresenta um estudo introdutório ao tratado, considerando a sua origem, princípios e ordem. Esta nomenclatura, permite-nos focar em aspetos paralelos aqueles que se induzem a partir na nomenclatura adotada por Choay.

#### *Origem e Motivação*

É na origem do conhecimento edificatório do *De re aedificatoria* que Alberti encontra a motivação para a sua escrita. A vontade de investigar a “arte e seus elementos: de que princípios derivavam, por que partes eram constituídos e definidos” (Alberti, 2011, p.142) tem como propósito a recuperação do conhecimento edificatório desenvolvido na antiguidade clássica, no âmbito de obras literárias e edificadas.

Ao longo do tratado encontram-se diversas passagens que testemunham a origem da *De re aedificatoria*. No Livro II. *Os Materiais*, cap.4<sup>11</sup>, onde Alberti descreve as características, proveniências e processamentos dos principais materiais construtivos, é explicitamente referida a importância de repetir os ensinamentos que os sábios da Antiguidade<sup>12</sup> nos legaram, propondo examinar o seu legado construído e escrito, coligindo esse conhecimento com o que regista pela observação das obras dos antigos ou dos conselhos de artistas experientes (Alberti, II, 4, 3).

No século XV é evidente a condição de ruína a que herança edificada da Roma Imperial estaria sujeita. Nesse contexto, Alberti refere-se aos templos e teatros como vestígios, “com os quais havia muito a aprender como se fossem os mais excelentes professores”, prevendo que “esta parte da vida e do conhecimento” desapareçam, propõe-se a tarefa de “livrar da morte esta parte do saber que os mais sábios dos nossos antepassados sempre tiveram no maior apreço” (Alberti, VI, 1, 1).

“(…) There is no doubt that the ancients are an authority for him and provide him with an archive of practical and theoretical references from which he can cull, but his adher-

---

<sup>11</sup> No final do capítulo 3 do Livro IV, antes de iniciar a descrição de ornamentos relativos às partes comuns a todos edifícios, faz referência às diversas fontes de conhecimento que dão origem às regras de edificação: “Por conseguinte dos exemplos dos Antigos, das advertências dos especialistas e da prática assídua nasceu o conhecimento perfeitíssimo e como realizar estas obras admiráveis, ao passo que do conhecimento foram extraídas as regras ditadas pela experiência; quem quiser – e todos devemos querer – não ser incompetente a construir não deve desprezá-las em nenhum aspecto.(…)” (VI, 3, 8)

<sup>12</sup> Alberti refere Teofrasto, Aristóteles, Catão, Varrão, Plínio e Vitruvius.

ence to them though on of *admiratio* is unequivocally also one of *aemulatio*.” (Payne, 1999, p. 72)

A este propósito, Krüger (2011, p. 23) considera que ao contrário do *De architettura*, o *De re aedificatoria* não é um tratado sobre a arquitetura da Antiguidade, uma vez que o processo de *aemulatio* e *exempla* “não se esgota nela mas a ultrapassa.”, sugere ainda que o posicionamento de Alberti e, o modo como redige o tratado, encontra-se na sua motivação de persuadir “promitentes patronos” e “pessoas cultas, sobre uma nova forma de fazer arquitectura.”

A influência de Vitruvius na obra teórica de Alberti é discutida por Payne (1999, pp. 70-76), Krüger (2011, p. 19), entre outros autores. Com efeito, Alberti considera o *De architectura*, exemplo único da literatura de arquitetura da Antiguidade que sobrevive “ao tempo e aos homens” (Alberti, VI, 1, 1). Ao longo do *De re aedificatoria*, são expressas opiniões contraditórias relativamente à totalidade da qualidade do tratado romano, esta dualidade sugere que Alberti pretendesse afirmar o seu pensamento arquitetónico perante o seu falso contemporâneo (Payne, 1999, p. 70).<sup>13</sup> Isto é, justifica a inevitabilidade da revisitação do único legado da literatura arquitetónica da antiguidade para a conceção de um novo documento.

### *Princípios*

Alberti estrutura o seu pensamento disciplinar pelo recurso ao estudo, observação e processo crítico de *imitatio* dos vestígios e conhecimento da Antiguidade Clássica, “na medida em que propõe, no *De re aedificatoria*, a análise histórica dos edifícios antigos<sup>14</sup>, sistematizada de forma tripartida, sob o ponto de vista da sua construção, da sua comodidade e da sua beleza, com a finalidade de fundamentar uma prática edificatória e não demolidora.” (Krüger, 2011, p. 20)

Tal como Vitruvius, Alberti define uma tríade de princípios fundamentais à formulação da arte edificatória, compondo aquilo que Choay chama de elogio à edificação, por operar simultaneamente três níveis do fazer humano. Se o *De architectura* enuncia a *firmitas* - construção, a *utilitas* – utilidade e a *venustas* – beleza (Vitruvius, I, 3, 2) como princípios fundamentais da arquitetura da Antiguidade Clássica, o tratado do *Quattrocento* enuncia a *necessitas* (necessidade), a *commoditas* (comodidade) e o *voluptas* (prazer ou beleza) (Alberti, I, 2, 3). Segundo Krüger (2011, p. 24), apesar de etimologicamente diferentes, os três princípios edificatórios de Vitruvius e Alberti detêm semânticas próximas, sugerindo a influência do primeiro na obra teórica do segundo. Alberti apropria-se dos princípios de Vitruvius, introduzindo-lhes um novo sentido no ato edificatório: a construção deve atender a uma necessidade, a utilidade deve propiciar comodidade ao ocupante e a beleza do edifício deve manifestar-se no prazer da sua utilização. Krüger (2011, p. 24) sugere ainda que estes princípios “não são intercambiáveis, dado que Vitruvius dirige-se predominantemente, aos

---

<sup>13</sup> Conforme refere Payne (1999, p.70): “It is a paradox of history that for a Renaissance reader, Alberti and Vitruvius were effectively contemporary texts: both were published in 1486, one in Florence and the other in Rome.”

<sup>14</sup> O papa Pio II (1458-1464), Enea Silvio Piccolomini, refere-se a Alberti, não como arquiteto, mas como *antiquitatum solertissimus indagator*, isto é, como o “mais sagaz dos descobridores de antiguidades” (in *Commentarii*, XI, 22; cf. Trad. Ingl. De3 F. A. Greeg, 1959, XI, p. 316).

produtos da arquitetura, enquanto Alberti refere-se, principalmente, aos processos da conceção da arte edificatória.” Isto é, Alberti propõem um qualificação intelectual, anterior à ação edificatória, enquanto, Vitruvius não diferencia a construção do intelecto.<sup>15</sup>

### Organização

Tal como o *De architectura*, traduzido em inglês como *The Ten Books on Architecture* (Vitruvius, 1914), o *De re aedificatoria*, é composto por dez Livros que se dividem em diferentes números de capítulos (Tabela 1), permitindo-lhes tratar de modo segmentado diversos temas disciplinares da arte edificatória.

<i>De re aedificatoria</i>	<i>De architectura</i> <sup>16</sup>
Livro I – o delineamento	Livro I – definição de arquitetura e o arquiteto
Livro II – os materiais	Livro II – os materiais construtivos
Livro III – a construção	Livro III – análise de templos
Livro IV – edifícios para fins universais	Livro IV – análise das ordens arquitetónicas
Livro V – edifícios para fins particulares	Livro V – praças públicas, mercados, teatros, termas, ..., edifícios públicos
Livro VI – do ornamento	Livro VI – edifícios particulares e privados, características e medidas
Livro VII – o ornamento de edifícios sagrados	Livro VII – acabamentos e revestimentos, ornamentos
Livro VIII – o ornamento de edifícios públicos profanos	Livro VIII – distribuição de água, hidráulica
Livro IX – o ornamento de edifícios privados	Livro IX – relógios
Livro X – o restauro de obras	Livro X – máquinas

Tabela 1. Elenco dos 10 livros constituintes do *De re aedificatoria* em paralelo com os livros constituintes do tratado de Vitruvius, o *De architectura*

No prólogo do *De re aedificatoria* é relatada uma descrição prévia da estrutura do tratado, onde são antecipados os temas que compõem os conteúdos gerais dos dez livros do tratado. Alberti propõe-se organizar o tratado a partir da diversidade de funções e contextos sociais em que a arte edificatória intervém, permitindo-lhe segmentar o tratado nos binómios: público/privado, sagrado/profano, ócio/trabalho e particular/universal (Alberti, 2011, p. 142).

Paralela a esta segmentação e, como referido mais acima, a estrutura do tratado segue ainda a ordem da tríade<sup>17</sup> - necessidade, comodidade e prazer - que é enunciada de modo sequencial na parte final do prólogo. A cada um destes princípios corresponde uma parte do tratado, aos quais acrescenta, mais uma quarta parte, dedicada à correção e reparação de erros da edificação. Num primeiro momento refere:

“ (...) Com efeito, já sublinhamos que um edifício é um corpo que consta, como qualquer outro, de delineamento e matéria, sendo aquele o produto do pensamento, e esta ob-

<sup>15</sup> Ver Krüger (2011, p. 26-27) para mais informações relativas a temáticas comuns entre o *De architectura* e o *De re aedificatoria*.

<sup>16</sup> Vitruvius não atribui designações aos livros.

<sup>17</sup> Choay (1985) denomina de axioma da tríade ao conjunto de princípios necessidade, comodidade e prazer.

tida da natureza. Aquele necessita de inteligência e raciocínio, esta de ser trabalhada e selecionada. Mas entendemos que nenhum desses dois elementos, de per si, é suficiente, se não lhes juntar a mão de um artífice experiente que dê a forma do delineamento. (...)” (Alberti, 2011, p. 142)

Neste excerto são sintetizados os conteúdos dos três primeiros livros. Alberti recorre ao princípio de edifício-corpo, aspeto original da *De re aedificatoria*, para estabelecer uma teoria geral da construção que resulta da relação entre o *delineamento* e *matéria*, aos quais dedica os Livros I e II, respetivamente, e que se formaliza através de uma série de regras de construção das partes dos edifícios (que consideram a forma dos edifícios e a sua materialidade), relativa ao Livro III. Ao conjunto dos três primeiros livros compreende a dimensão da necessidade.

Os livros IV e V desenvolvem o princípio da comodidade através da especificação das particularidades dos edifícios e pela aplicação do binómio necessidade/desejo no âmbito de usos destinados a fins universais e particulares.<sup>18</sup> No seguimento do excerto anterior Alberti esclarece:

“(...) E, sendo várias as utilizações dos edifícios, foi necessário investigar se o mesmo tipo de delineamento é adequado a qualquer obra. Por tal motivo dividimos os edifícios em vários géneros. E como notámos a importância que neles tem a coerência e a proporção das linhas entre si, como principal fonte e factor de beleza, começámos, por isso, a discorrer acerca da beleza, em que consiste, e qual é a que é apropriada a cada género. (...)” (Alberti, 2011, p. 142)

A segunda metade deste excerto revela o conteúdo dos Livros VI, VII, VIII e IX, dedicados ao prazer, relacionando-os com a beleza e, onde são expostos meios para a ornamentação dos edifícios e considerações sobre o seu carácter estético.

O Livro VI centra-se em princípios que se aplicam à generalidade dos edifícios. Os restantes livros são dedicados a princípios específicos ao dimensionamento e beleza dos edifícios. O Livro VII trata dos edifícios sagrados e o Livro VIII, descreve os edifícios de carácter público e profano.

Por fim, o Livro IX, divide-se em duas partes, a primeira, é dedicada aos edifícios privados e, a segunda, retoma descrições relativas aos princípios de beleza, de regras universais de estética (caps. 5 a 7) e regras de conduta do arquiteto para acautelar erros de projeto e da edificação (caps. 8 a 11). As regras universais de estética conforme apresentadas no *De re aedificatoria* têm o intuito de retratar uma ideia de harmonia entre o todo e as partes do edifício e são sintetizadas por Alberti no termo *concinnitas* (concinidade).

A quarta e última parte do tratado, constituída apenas pelo Livro X, interrompe a continuidade temática dos livros anteriores e a correspondência tripartida com os três princípios da arte

---

<sup>18</sup> Esta disposição referencia mais uma vez a influência do *De architettura* na organização do *De re aedificatoria*. Ambos tratam autonomamente edifícios públicos e privados, dedicam livros específicos aos edifícios sagrados, edifícios públicos, e aos princípios de ornamento ou composição de sistemas de colunas. O que remete para similitudes no modo como sistematizam sistemas proporcionais dos edifícios e dos sistemas de colunas.

edificatória albertiana<sup>19</sup>. Neste livro, Alberti propõe-se tratar da dimensão de correção de erros edificat6rios:

“(...) E, como em todos os g6neros se encontravam, ocasionalmente, defeitos, procuramos saber de que forma se poderiam corrigir e reparar.” (Alberti, 2011, p. 142)

Conforme previsto no Pr6logo, estas s6o as quatro dimens6es edificat6rias que marcam a segmenta6o do *De re aedificatoria*. Excepcionalmente, nos dois 6ltimos livros identificam-se quest6es que o pr6logo n6o antecipa (Choay F., 1994, pp. 81, 83)<sup>20</sup>. Nos caps. 5, 6 e 7 do Livro IX, a partir de leituras da filosofia e da matem6tica, Alberti relaciona a natureza dos n6meros com as suas qualidades est6ticas. Conforme retratado mais adiante, nestes cap6tulos s6o definidos sistemas de propor6es de aplica6o ampla e transversal, sugerindo que Alberti os consideraria como meta-sistema de propor6es.

### 2.1.2. O pensamento *De re aedificatoria*: l6gica da teoria e da pr6tica

Ainda no pr6logo, Alberti (2011, p. 138) proclama “que 6 arquitecto aquele que com m6todo seguro e perfeito” souber aplicar as regras da teoria e da pr6tica.<sup>21</sup> Choay (1985, p. 118) identifica os diversos meios l6gicos a que Alberti recorre para a sistematiza6o dessas regras<sup>22</sup>. Esta autora numa abordagem estruturalista designa-os de “operadores”, dividindo-os entre operadores te6ricos, ou axiomas<sup>23</sup> e, operadores pr6ticos ou, princ6pios pr6ticos, por oposi6o, Kr6ger utiliza o termo “dimens6es”, para se perceber o desdobramento de 6mbitos em que o pensamento albertiano se desenvolve.

#### *Regras da teoria*

Choay identifica cinco axiomas, o primeiro, nomeado de *axioma da triade* — sintetiza os princ6pios da arte edificat6ria Albertiana — 6 composto pela necessidade ou constru6o, comodidade ou desejo e prazer ou beleza. Este tr6s n6veis do pensamento edificat6rio motivam a parti6o tem6tica do tratado anteriormente referida. Ainda que em cada uma das partes do tratado (excluindo a quarta parte, que corresponde ao n6vel da corre6o) um dos n6veis seja dominante, dependendo das situa6es, os restantes n6veis podem integrar o cont6udo dessas partes, permitindo que se cruzem com outros operadores (Choay F., 1985, p. 119).

---

<sup>19</sup> Kr6ger (2011, p. 25) faz uma s6ntese das considera6es que diversos autores realizam sobre este facto, nomeadamente, julgando-o um paradoxo ao conformar um conjunto impuro (Venturi, 2002, p.45), ou ainda, como uma obra em aberto, pelo facto do Livro X n6o ser conclusivo na tem6tica a que se circunscrevia (Grafton, 1997, p.56; Caye, 2004).

<sup>20</sup> Entrevista realizada por Thierry Paquot a Fran6oise Choay em Outubro de 1994. E dispon6vel em: [http://urbanisme.upec.fr/servlet/com.univ.collaboratif.utils.LectureFichiergw?ID\\_FICHER=1259768720200&ID\\_FICHE=38710](http://urbanisme.upec.fr/servlet/com.univ.collaboratif.utils.LectureFichiergw?ID_FICHER=1259768720200&ID_FICHE=38710)

<sup>21</sup> Choay (1980, p.76) confirma o discurso bipartido, dando como exemplo as regras para a propor6o dos sistemas de colunas - leis da beleza e harmonia, e as regras para a constru6o do pavimento dos columb6rios, onde Alberti aconselha a utiliza6o de uma mistura de cal e urina humana para que atraia os pombos.

<sup>22</sup> Do conhecimento do edificat6rio, e que permitem-lhe elaborar uma teoria da arquitetura.

<sup>23</sup> Denomina os operadores te6ricos de axiomas por constitu6em proposi6es indiscut6veis, originais e dotadas de poder gerativo.

O segundo axioma enuncia a relação *edifício-corpo*, Choay (1985, p. 119) identifica três corolários (ou componentes) para a sua aplicação. O primeiro é o corolário metodológico, correspondente à relação entre o delineamento e a construção (Alberti, 2011, p. 142), ao modo como os arquitetos moldam a matéria atribuindo-lhes uma forma. O segundo, o corolário estrutural, procedente da analogia de partes da anatomia animal, como a ossatura, os tendões, os ligamentos e a pele, e partes dos edifícios, correspondendo a elementos portantes, de ligação, de enchimento e revestimento, respetivamente.<sup>24</sup> E ainda, o corolário orgânico, segundo o qual as diferentes partes do edifício se relacionam entre si e são simultaneamente subordinadas à organização da totalidade do edifício, de modo análogo ao que se passa no corpo animal.

Estes corolários contribuem à definição das partes da edificação que, conforme a sua própria natureza, integram a natureza global do edifício, isto é, ao estabelecimento de regras de edificação e composição de cada uma das partes que se relacionam com o todo, o corpo.

O terceiro axioma corresponde à *taxionomia de usos*. Segundo Alberti, a especificidade e diversidade dos humanos implica considerar edifícios diferenciados. Perante essas diferenças de utilização, ou programas, propõe uma série de binómios antagónicos que simultaneamente classificam e especificam o conhecimento relativo a cada um deles: público/privado, sagrado/profano, ócio/trabalho e particular/universal. Como exposto mais acima, a *taxionomia de usos* determina a sequência de temas que os livros abordam, nomeadamente, na segunda parte, no nível da comodidade, pela diferenciação de princípios construtivos dos edifícios com propósitos universais e particulares e na terceira parte, no nível do prazer, para diferenciá-los pelo seu programa.<sup>25</sup>

O quarto axioma, o *axioma da conceção*, consiste na identificação dos *descritores da edificatória*, ou seja, na descrição dos elementos necessários à construção da generalidade dos edifícios: região, área, compartimentação, parede, cobertura e abertura (Alberti, I, II, 2). Conforme refere Choay (1985, p. 120), o seu cruzamento com os outros axiomas permite gerar o conjunto de regras de edificação. Neste sentido, é pertinente assinalar que os descritores da edificatória determinam a segmentação de conjuntos de regras de edificação, os quais são tomados em consideração na sistematização de conhecimento da gramática dos edifícios sagrados. Ao contrário dos três primeiros axiomas, enunciados no prólogo, o *axioma da conceção* é formulado em termos introdutórios à sua utilidade e colocação no *Livro I: O delineamento* e no *Livro III: A construção*, onde são retomados do ponto de vista da sua materialização, designadamente, pela descrição de sistemas construtivos a aplicar a cada um dos descritores da edificatória.

“Todo o corpo consta de partes determinadas e próprias, das quais, realmente, se tirares alguma, ou reduzires uma maior ou menor, ou transferires para lugares inadequados, sucederá que se deteriora aquilo que neste corpo estava de acordo com o decoro.” (Alberti, IX, 5, 3)

---

<sup>24</sup> Desenvolvido ao longo do Livro III, onde Alberti estabelece diversas analogias entre os elementos construtivos dos edifícios e o corpo humano. No parágrafo 5 do cap.7, sobre a disposição cruzada das pedras que compõem um cunhal refere que devem ser “como braços e cotovelos”.

<sup>25</sup> Alberti faz referência à necessidade de diferenciação dos edifícios pelo seu uso no Prólogo, mas também no Livro I, cap.2.

Neste excerto do cap.5 do Livro IX, Alberti introduz os descritores do quinto axioma proposto por Choay: o *axioma do prazer*. Através da analogia corpo-edifício, caracterizada pela harmonia natural de dependência das partes do todo e, do todo pelas partes devidas, Alberti (IX, 5, 4) nomeia as “três as principais noções em que se condensa na totalidade aquele princípio que buscamos: número, aquilo a que chamamos delimitação e disposição.” À justa coligação destas noções designa “concinnidade”, cuja “função e objectivo” é “ordenar as partes, a que de outro modo são, por natureza, distintas entre si, segundo uma norma tão perfeita que umas correspondam ao ornamento das outras.”

Com efeito, neste axioma o *número* refere-se aos sistemas proporcionais que são aplicados, a *delimitação* ao contorno da obra, algo próximo da definição da área dos edifícios e a *disposição* descreve a localização e colocação dos elementos dos edifícios, uns em relação aos outros. A articulação destes três descritores conforma o princípio de beleza da teoria edificatória Albertiana, isto é a concinnidade. Por este motivo adota-se a designação de *axioma concinnitas* em vez de prazer.

Choay utiliza os termos *número*, *proporção* e *posição* para se referir aos descritores deste axioma, porém, na tradução para português de Santo e Krüger (Alberti, 2011, p.593), *numerus*, *finitio* e *collocatio* são referidos como número, delimitação e disposição. Esta última terminologia parece-nos mais correta, uma vez que a delimitação compreende a definição de um limite que contém uma ou diversas proporções, ou seja, a ideia de proporção é-lhe intrínseca, mas não é necessariamente suficiente para a definir, bem como posição não introduz de modo tão explícito a noção de relação relativa entre partes implícita à disposição, que compreende as ações de distribuição, colocação e ordem.<sup>26</sup>

Tal como o axioma da conceção, o axioma *concinnitas* não é explicitado no prólogo, mas no capítulo cinco do Livro IX. As suas premissas são utilizadas nas descrições dos ornamentos dos edifícios, isto é, nos no conteúdo dos Livros VI, VII, VIII e do cap.1 ao cap.4 do Livro IX.

### *Regras da prática*

Ao contrário do que acontece com os cinco axiomas, Alberti não designa os princípios práticos como conceitos da arte edificatória. A sua enunciação é feita por Choay (1985, p. 120) a partir da análise do tratado, tendo considerado os seguintes princípios: da frugalidade, da duração e dialógico.

O *princípio da frugalidade* e da economia refere-se às sucessivas recomendações que Alberti faz no sentido da otimização de recursos que se aplicam na edificação, quer na procura de soluções que empreguem menores custos, como na economia recursos materiais e de conceção.<sup>27</sup>

O *princípio da duração* introduz a questão do tempo, Alberti alerta para a necessidade de amadurecimento do trabalho *intelectual* do arquiteto e para o facto de se dever permitir que a obra vá assimilando os diferentes momentos do seu processo edificatório.

---

<sup>26</sup>“disposição”, in *Dicionário Priberam da Língua Portuguesa* [em linha], 2008-2013, <http://www.priberam.pt/dlpo/disposiçao> [consultado em 21-01-2015].

<sup>27</sup> Choay sugere ainda que Alberti estende a aplicação deste princípio ao modo como desenvolve o tratado, segundo a autora, essa economia está patente no reduzido número de conceitos em que centra o seu discurso (os cinco axiomas), bem como num vocabulário deliberadamente circunscrito cujo objectivo é comunicar do modo mais claro possível a *De re aedificatoria*.

O *princípio dialógico* que se refere à necessidade de diálogo verbal entre os diversos interlocutores do processo de edificação, nomeadamente entre o arquiteto, o cliente, os especialistas e eventualmente a comunidade social.

Choay, nomeia um terceiro conjunto de operadores, os *operadores metamíticos*, relativos a relatos sobre a origem das coisas, presentes nas introduções aos três grandes níveis do tratado. Tratam-se de narrações da Antiguidade que estabelecem enquadramentos iniciáticos às problemáticas dos níveis da edificação.

Em síntese, o *Prólogo* anuncia e sistematiza o conhecimento edificatório do tratado, permitindo a compreensão global da sua organização e princípios. A segmentação temática do tratado consta de três grandes partes dedicadas a cada um dos operadores do axioma da tríade. Os restantes axiomas (edifício-corpo, conceção, taxionomia de usos e *concinntas*) determinam a subsegmentação dessas partes e dos livros que as compõem. A Figura 2 ilustra esquematicamente em que parte do tratado são formulados os operadores teóricos *De re aedificatoria*<sup>28</sup>, e de que modo são responsáveis para a ordenação temática do tratado.

### 2.1.3. A teoria artística no *De re aedificatoria*

Se considerarmos que estudos filosóficos dedicados à estética só seriam desenvolvidos a partir do século XVIII por filósofos como Alexander Gottlieb Baumgarten<sup>29</sup> (1714-1762), Edmund Burke<sup>30</sup> (1729 – 1797) e Immanuel Kant<sup>31</sup> (1724-1804), o princípio da arte edificatória da beleza (ou o prazer) introduz um pensamento inovador na arquitetura. Originário na releitura do conhecimento da Antiguidade Clássica (tanto de âmbito arquitetónico como mitológico) e da noção de beleza que lhe estava subjacente. Ainda que original, ocorrem dificuldades de sistematização deste princípio, mormente na síntese de premissas estéticas da edificação. Sobre este tema Choay (1994, pp. 123, 124) refere o seguinte:

“(…) Um resumo sintético das dificuldades que, segundo mostrou a análise do Livro IX, impediam que Alberti mantivesse a coerência perfeita de seu tratado, nos permitirá especificar a contribuição original de Alberti a uma “teoria da arte” e captar a origem dos contra-sensos habitualmente cometidos sobre as relações do *De re aedificatoria* com o pensamento antigo em geral e com o neoplatonismo em particular.”

---

<sup>28</sup> É importante fazer referência ao esquema triangular publicado por Choay, em *Regras e Modelos* (1985, p. 82). Este esquema desenvolve-se num triângulo equilátero invertido, que repousa numa base rectangular. A base ilustra o prólogo, dado o seu “caráter gerador” e forma “condensada sob a qual contém a maioria dos operadores” (Choay F., 1985, p. 81). O triângulo subdivide-se horizontalmente, na tríade de princípios e livros que os formulam, homologando ao desenvolvimento que o texto segue.

<sup>29</sup> *Aesthetics*, 1750.

<sup>30</sup> *A Philosophical Inquiry into the Origin of Our Ideas of The Sublime and Beautiful*, 1757.

<sup>31</sup> *Kritik der reinen Vernunft* (Crítica da Razão Pura), 1781.

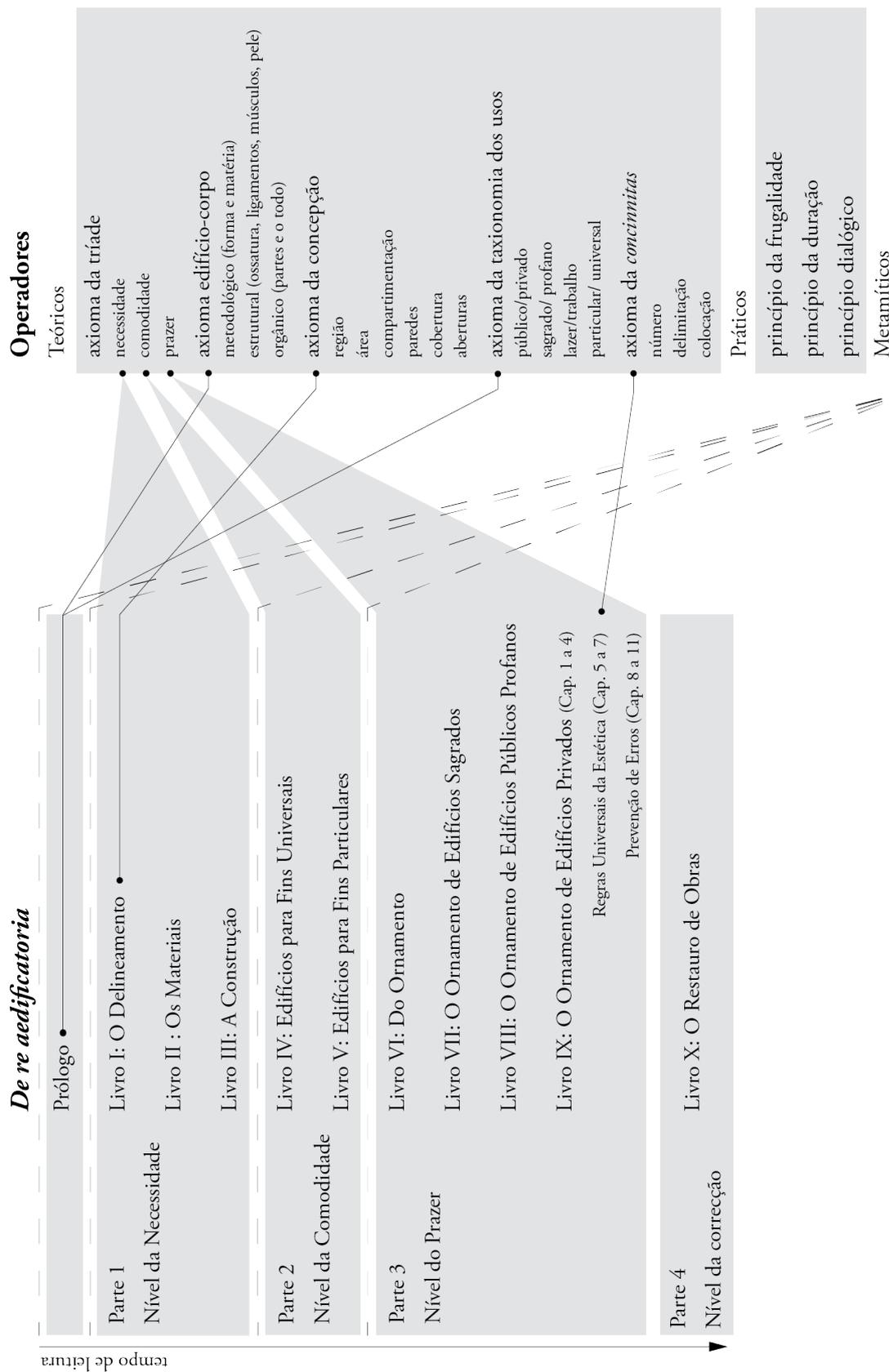


Figura 2. Diagrama que relaciona a progressão e segmentação temática do *De re aedificatoria*, com os operadores da teoria arquitetônica albertiana, conforme descrito no Prólogo. Este diagrama é uma adaptação que o autor faz de um diagrama publicado por Chooy (1985, p. 81).

Choay propõe quatro categorias para o modo como Alberti entende a beleza, agrupando-as duas a duas, em binómios antagónicos e, segundo uma terminologia proposta pela própria historiadora. Neste sentido, coloca em oposição a beleza intrínseca à beleza acrescentada, ou ornamentada, e, à beleza orgânica naturalista a beleza dogmática cultural.

### *Beleza intrínseca vs. beleza acrescentada*

Na origem do primeiro binómio está a seguinte formulação de Alberti:

“(…) a beleza é a concinidade, em proporção exata, de todas as partes do conjunto a que pertencem, de tal modo que nada possa ser adicionado ou subtraído, ou transformado sem que mereça reprovação. (...) o ornamento será uma espécie de luz subsidiária da beleza e como que o seu complemento (...) a beleza é algo inato, espalhado por todo o corpo que é belo, ao passo que o ornato é da natureza do artificial e acrescentado mais que inato.” (Alberti, VI, 2, 5)

Os significados de ornamento e beleza misturam-se no discurso albertiano, com efeito, o primeiro é um princípio, da ordem concetual, o segundo, transcende a formulação, considera a formalização de algo. O ornamento contribui para a beleza.

“(…) a actividade do arquitecto em Vitruvius deve unir a prática à *cxão*, (a *fabrica* à *ratio*cinato) e em Alberti, para além disso, a dimensão mental precede a da execução da obra; também as relações proporcionais de Vitruvius são organizadas por uma modulação previamente adotada (a *eurythmia* vitruviana), fundamentada, em parte, pelas correções ópticas, enquanto para Alberti existe uma procura por um todo que apresente concinidade, como na natureza, definida pelo *numerus*, i.e. pelas qualidades numéricas das suas partes, i.e. pelas suas proporções, pela *finitio*, ou seja, pelos limites ou delimitação do todo constituído por aquelas partes e, ainda, pela *collocatio*, i.e., pelas suas relações recíprocas estabelecidas entre as partes ordenadas do edificado e destas com o todo.” (Krüger, 2011, pp. 26-27)

Os princípios relativos à concinidade, ou harmonia – *collocatio*, *numerus* e *finitio*, introduzidos no Livro I (Alberti, I, I, 2) e desenvolvidos no Livro IX (cap. 5 e 6), associam-se à ideia de ornamento e beleza. Se tomarmos como exemplo as descrições sobre o método construtivo dos muros (paredes) constituídos por um pódio (alicerces), paramentos, enchimentos, ossatura (cunhais, pilastras e colunas encastradas nos paramentos) e cornija (Alberti, III, 6), aos quais se segue o trabalho dos entalhadores que executavam incrustações em pedra nos paramentos (Alberti, VI, 10) e, por último os canteiros que lavravam os capitéis, bem como outros ornamentos arquitetónicos (Alberti, VIII, caps. 7, 8, 9 e 12) (Krüger, 2011, p.377, n.993). E ao considerar que a beleza é algo inato e o ornamento é da natureza do artificial e acrescentado (Alberti, VI, 2, 5) distingue-as entre algo relativo ao todo, na sequência da relação edifício-corpo, e algo de aplicação local, respetivamente.

### *Beleza orgânica vs. beleza dogmática*

“A maioria dos historiadores de arquitectura, e particularmente R. Wittkower, desprezaram a concinnitas naturalista herdada do “fisiologismo” aristotélico., concentraram-se na concinnitas matemática e no sistema dogmático que ela sustenta, e apressaram-se a considerar Alberti o promotor de uma teoria edificatória exclusivamente matemática e neoplatónica de arquitectura.” Choay (1994, p. 125)

Choay (1994, p. 124) sugere que a primeira grande inovação de Alberti está no entendimento da beleza orgânica, proveniente da justa adequação de um edifício à sua função, proposta no nível da comodidade, tal como no corpo de um animal “a harmonia entre as partes é criada pela natureza”. E que uma outra inovação, ainda através de princípios contraditórios, apresenta-se pelo nível do prazer, ao acrescentar à comodidade uma linguagem originária numa estética que supera a simples construção.<sup>32</sup>

Choay refere-se a este processo de associação de identidade cultural como poética da edificação, ilustrando-o através da sugestão da existência de duas séries de regras na poética edificatória dos templos. Por um lado, regras que relacionam os templos com o seu contexto urbano: região, no sentido da escolha da sua localização e dimensão (Alberti, VII, 3, 3-5), bem como da necessidade do seu ornamento exterior dignificar a cidade (Alberti, VII, 2, 6). Por outro, regras que trarão solenidade e recolhimento ao espaço sagrado através do delineamento e colocação das suas paredes, compartimentação, cobertura e aberturas (Alberti, VII, 3-10).

Em Alberti esta poética de edificação é gerada a partir daquilo que Choay (1994, p. 125) chama de duas *estéticas competitivas*. A estética que considera o princípio da frugalidade e a analogia corpo-edifício, onde cada um dos operadores do axioma da conceção tem uma função edificatória “natural”. E a estética que aplica um racionalismo originário em sistemas de normas estilísticas, observados e estudados por Alberti a partir dos vestígios cultura Clássica. Com efeito, Alberti desenvolve ao longo do livro IX um pensamento estético bipartido, por um lado a vontade de concisão da edificação a sua essência (necessidade e comodidade), e por outro a herança cultural, dependente do significado e expressão dos números, nomeadamente, das suas conotações pitagóricas.

---

<sup>32</sup> Sobre linguagem e arte Choay faz referência ao livro *La structure du texte artistique*, de I. Lotman, 1973, p.55. No capítulo “A arte enquanto linguagem”: “a arte verbal, embora se baseie na *língua natural*, nela se baseia apenas para transformá-la em sua própria linguagem secundária, a *linguagem da arte*.”

## 2.2. Gramáticas de Forma

### 2.2.1. Introdução

No contexto desta investigação em arquitetura, propõe-se o recurso a algoritmos<sup>33</sup> e modelos computacionais como ferramentas que colaboram na clarificação de questões do foro da linguagem de projeto. Como identificar um conjunto de elementos comuns de um *corpus* de projetos, aferindo se a sua descrição define uma linguagem de projeto? Como especificar um modelo computacional generativo e respetivos algoritmos, para que as suas soluções de projeto pertençam à mesma linguagem? Como podem a computação e algoritmos auxiliar à compreensão da evolução de linguagens de projeto?

Investigações no âmbito do estudo de linguagens de projeto recorrem a gramáticas espaciais como método formal por forma a colmatarem a lacuna entre a expressão visual da forma, normalmente utilizada pelos arquitetos, e descrições simbólicas codificadas requeridas pelos computadores. De entre as gramáticas espaciais, as gramáticas de forma (GFs) (Stiny & Gips, 1972) são o sistema mais referido e estudado.

As GFs são sistemas computacionais baseados em regras, em que um determinado número de soluções de projeto (*design*), finito ou infinito, podem ser derivadas pela aplicação de um conjunto de regras.

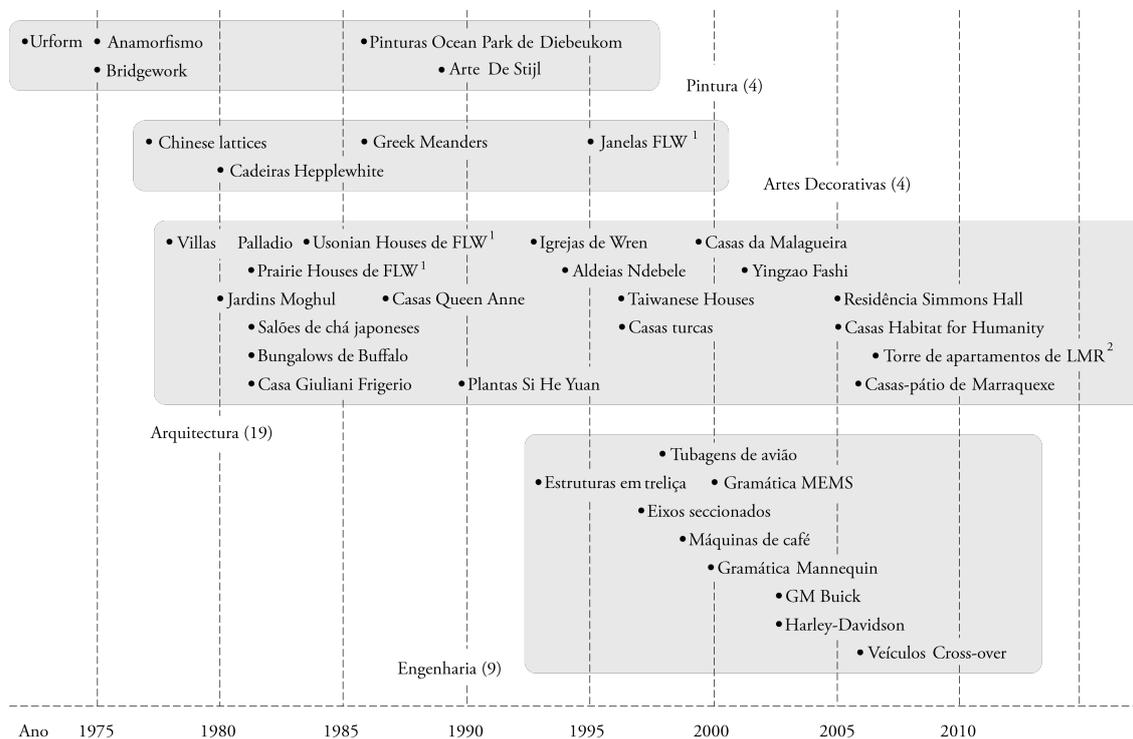
O potencial das GFs reside na capacidade de desenvolvimento de sistemas de projeto para geração de soluções dentro de parâmetros formais pré-definidos, permitindo a exploração de soluções alternativas dentro desses parâmetros, isto é, dentro da linguagem desse projeto. Uma vez que na base da geração está a definição de regras, as GFs são utilizadas maioritariamente para estudos tipológicos, em que se estuda o desvio de parâmetros numa série de regras comuns.

A Figura 3 mostra uma cronologia que referencia as GFs mais citadas na literatura específica. Consta-se que as primeiras GFs foram utilizadas no âmbito da pintura e artes decorativas, precedidas de um extenso grupo de GFs relativas à análise de estilos arquitetónicos, designadamente ao nível da derivação das suas plantas. É de salientar que a primeira GF de carácter claramente arquitetónico é a gramática das *Vilas de Palladio* (Stiny & Mitchell, 1978), a qual é uma referência incontornável da investigação apresentada nesta dissertação. Mais recentemente, verifica-se o surgimento

---

<sup>33</sup> Algoritmos são sequências de instruções adotadas na resolução problemas segundo lógicas de procedimento que se executam dentro de condições previstas, pelo que o seu resultado é parcialmente previsível. Por exemplo, quando se lança um dado cúbico, com as faces numeradas de um a seis, estão preestabelecidas regras algorítmicas, contudo não sabemos antecipadamente o resultado preciso, mas sabemos que será entre um e seis. A origem das regras aplicadas por um algoritmo pode ser artificial, ou derivar da replicação de regras naturais presentes na natureza. Algoritmos são um conjunto de processos que permitem ir à procura de algo imprevisível à partida, quer utilizem regras artificiais, quer pela replicação de regras existentes na natureza, não são o produto final, mas um meio para explorar contingências e possibilidades. O que os distingue de um processo comum de resolução de problemas é o facto dos seus resultados poderem produzir padrões de pensamento e resultados inesperados. Originalmente usado em Matemática, o termo algoritmo passou a significar toda a sequência lógica sistemática (Wilson, 2002, p. 313; Figueiredo, 2009, p. 19).

de GFs na área da engenharia e design de produto<sup>34</sup>, advento que sugere a evolução das teorias e mecanismos das GFs no sentido de se tornarem uma ferramenta colaborativa de projeto, uma vez que permitem a integração de várias disciplinas no processo de inferência de linguagens de projeto.



<sup>1</sup>Frank Lloyd Wright <sup>2</sup>Ludwig Mies van der Rohe <sup>3</sup>Medina de Marraquexe

Figura 3. Cronologia representativa do surgimento das gramáticas de forma mais conhecidas confrontada com o âmbito de aplicação das mesmas. Este diagrama é apresentado na dissertação de Yue (2009, p. 22) e é uma adaptação e atualização do diagrama apresentado por Chau et alli. (2004, p. 358).

## 2.2.2. Definição e formalismo das gramáticas de forma

### *Gramáticas de forma e sistemas de produção*

Gips e Stiny (1972; 1980) propõem a ideia de GFs a partir do formalismo e sentido técnico desenvolvido por Chomsky (1957) para a gramática generativa de frases lineares e simultâneas, sendo ambas exemplos de sistemas de produção introduzidos por Post (1943). Estes sistemas são definidos por uma sequência de caracteres, ou símbolos, de um vocabulário específico, e por uma lista de produções. A produção transforma uma sequência de símbolos numa nova sequência, isto é, para um objeto ou sequência inicial  $w$ , opera uma produção sob a forma de  $u \rightarrow v$ , em que  $u$  e  $v$  são sequências de símbolos variáveis no vocabulário.

<sup>34</sup> Algumas destas GFs introduzem algoritmos relativos à otimização da performance de projeto, como é o caso da gramática que otimiza o desenho de estruturas em treliça: *truss planar grammar*, desenvolvido por Kristina Shea na dissertação de doutoramento (1997).

O esquema geral de produção corresponde à transformação da forma do lado esquerdo  $u$  na forma do lado direito  $v$ <sup>35</sup>, se houver correspondência entre a transformação do lado esquerdo da produção  $f(u)$  e o objeto  $w$ . O novo objeto ( $w'$ ) resulta da subtração da transformação do lado esquerdo da produção  $f(u)$  ao objeto  $w$ , adicionando-se depois a mesma transformação aplicada ao lado direito da produção  $f(v)$  ao resultado da subtração.

Para uma produção  $u \rightarrow v$  e um objeto  $w$  se

$$f(u) \leq w,$$

então a produção aplica-se a  $w$ , sobre a transformação  $f(x)$  para produzir o novo objeto

$$[w - f(u)] + f(v)$$

As GFs tratam-se um sistema produtivo baseado em regras de reescrita de forma<sup>36</sup>. Em que as soluções de projeto geradas resultam de uma sequência de transformações formais. Analogamente aos sistemas de produção o processo generativo das GFs inicia-se a partir de uma forma inicial, em que cada forma da sequência é produzida a partir da forma antecedente pela substituição de uma parte dela por outra.

### *Gramáticas de forma não paramétricas e paramétricas*

No artigo *Introduction to Shape and Shape Grammars*, Stiny (1980a) define conceitos que estabelecem o formalismo base das GFs paramétrica e não paramétricas. Este artigo constitui a evolução e síntese de textos anteriores (Stiny & Gips, 1972; Gips, 1975; Stiny, 1975; Stiny, 1977) estabilizando conceitos da “maquinaria formal para a definição algorítmica das linguagens”.

Neste artigo, a definição algorítmica das GFs estabelece-se em quatro componentes — (S, L, T, I).  $S$  é um conjunto finito de formas constituídas por um conjunto finito de linhas sintetizadas pelas suas linhas máximas. Uma forma  $S$  definida por um conjunto de linhas máximas pode ser representada, enquanto que uma forma definida sem linhas máximas é chamada de forma vazia, indicada como  $S\emptyset$  e representada com um espaço vazio.

É nesta representação formal que se manifesta apropriada a tradução das regras edificatórias albertianas em regras de forma<sup>37</sup>. O pensamento de projeto, das suas formas, através da capacidade generativa das linhas é uma formulação albertiana dos *lineamenta*:

---

<sup>35</sup> A grande maioria da literatura especializada em gramáticas de forma é escrita na língua inglesa. Nessa literatura, a forma antecedente e a forma precedente de uma regra são denominadas de “left-hand side shape” e “right-hand side shape”, respetivamente. Como tradução livre para a língua portuguesa desta terminologia, neste contexto científico, adotamos os termos “forma do lado esquerdo da regra” e “forma do lado direito da regra”. Esta terminologia é igualmente adotada por Duarte (2007, p. 49). Por oposição, Beirão (2012, p. 44) adota os termos “predicado  $\rightarrow$  conseqüente” e, segundo o qual, numa linguagem familiar ao domínio da sintaxe formal correspondem a “se  $\rightarrow$  então”.

<sup>36</sup> Em matemática, um sistema de reescrita é um sistema onde termos podem ser reescritos usando uma lista finita, ou infinita, de regras de reescrita (Sakharov). Nos estudos de gramáticas generativas (de linguagens naturais), Chomsky (1969, p.66) também adota os sistemas de regras de reescrita para a derivação de frases, nomeadamente pelo recurso a representações em diagramas de árvore, ou marcadores de frases.

<sup>37</sup> Pode-se ainda estabelecer um paralelo entre o poder generativo do *De re aedificatoria*, que se estabelece nas relações entre a *necessitas*, a *commoditas* e a *voluptas*, e a capacidade generativa das gramáticas de forma.

“A arte edificatória, no seu todo, compõem-se de delineamento e construção. Toda a função e razão de ser do delineamento resume-se em encontrar um processo, exato e perfeito, de ajustar e unir entre si linhas e ângulo, afim de que, por meio daquelas e destes, se possa delimitar e definir a forma do edifício.(...)” (Alberti, I, 1,2)

$L$  é um conjunto finito de símbolos designados de marcadores cuja função é auxiliarem ao controlo da derivação. É através dos marcadores que se estabelecem restrições à aplicação de transformações e operações booleanas às formas. O marcador  $p:A$  especifica um ponto de referência  $p$  com um símbolo  $A$  que indica esse ponto. Uma forma com marcador (*labeled*)  $\sigma$  é constituída por um par ordenado,  $\sigma = \langle s, P \rangle$  : em que  $s$  é a forma e  $P$  um conjunto de marcadores.

$R$  é o conjunto de regras de forma do tipo  $u \rightarrow v$ , onde  $u$  é uma forma com marcador em  $(S, L)^+$ , e  $v$  é uma forma com marcador em  $(S, L)^*$ .

$I$  é a forma com marcador pertencente a  $(S, L)^+$ , à qual é aplicada a primeira regra da forma, pelo que chama-se de forma inicial.

Similarmente ao formalismo dos sistemas de produção, numa GF não paramétrica, a regra da forma  $u \rightarrow v$  aplica-se sobre uma forma com marcador  $w$  quando existe uma transformação de semelhança  $t$  em que  $t(u)$  é uma subforma de  $w$ , isto é,  $t(u) \leq w$ . A forma com marcador derivada pela aplicação da regra da forma  $u \rightarrow v$  sobre uma forma  $w$ , conforme a transformação  $t$  especificada, corresponde à seguinte equação:

$w_{n+1} = [w_n - t(u)] + t(v)$ , em que  $n > 0$  e,  $w_n$  corresponde à forma do projeto no estágio de derivação  $n$ .

Na Figura 4 ilustram-se as regras da forma e forma inicial apresentadas por Stiny como exemplo de uma GF simples. A regra 1 consiste na adição de um quadrado convexo dentro de um quadrado convexo, recorrendo a um ponto de referência (marcador) para controlar a transformação da forma do lado esquerdo da regra (rotação e homotetia). A regra 2 tem a função de apagar o rótulo no final do processo de derivação. A Figura 5 ilustra a derivação de uma forma pela sucessiva aplicação da regra 1, trata-se de processo recursivo de três iterações, em que o primeiro aplica-se sobre a forma inicial. Finalmente, pela aplicação da regra 2 obtém-se a solução final sem rótulos.

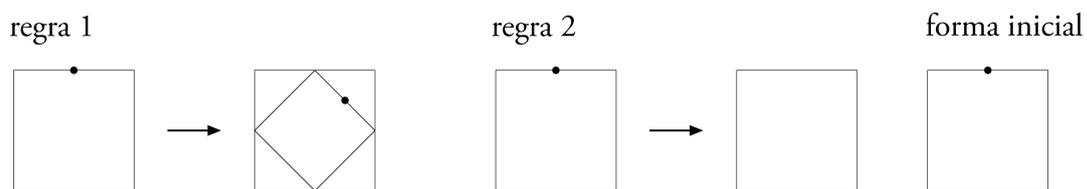


Figura 4. Gramática da forma simples para a derivação de quadrados inscritos num quadrado. Apresentam-se duas regras de forma e forma inicial com rótulo. Gramática adaptada de (Stiny, 1980a).

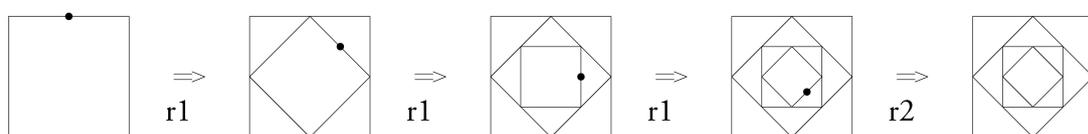


Figura 5. Derivação de uma forma dentro da linguagem da gramática definida na Figura 4.

Uma forma diz-se paramétrica se pelo menos uma das coordenadas dos pontos que definem as suas linhas máximas for variável. Numa forma paramétrica com marcador  $\sigma = \langle s, P \rangle$ ,  $s$  é uma forma paramétrica e  $P$  é um conjunto finito de marcadores, ou pontos de referência, cujas coordenadas são variáveis.

De acordo com Stiny, as GFs paramétricas são extensões das GFs, em que as regras da forma são definidas pela atribuição de um valor aos parâmetros variáveis em aberto dentro de um esquema geral (paramétrico). O esquema paramétrico das regras de forma  $u \rightarrow v$  compreende as formas com marcadores paramétricas  $u$  e  $v$ . Pela definição de uma função  $g$  podem atribuir-se valores aos parâmetros das regras, especificando-se uma nova regra da forma  $g(u) \rightarrow g(v)$ . Tomando em consideração que a regra da forma define-se num esquema paramétrico, a sua aplicação é expressa na seguinte equação:  $w_{n+1} = [w_n - \tau(g(u))] + \tau(g(v))$ ,  $n > 0$ .

Nesta especificação de GFs paramétricas, tanto as operações de transformação de semelhança  $\tau$  (que podem incluir operações de rotação, translação, homotetia, simetria, ou a composição destas), como as relações paramétricas  $g$  presentes no vocabulário formal da GF, definem-se no conjunto de regras de forma.

Com efeito, Duarte (2001) define as GFs paramétricas pela sequência (S, L, T, G, I). Nesta definição, S corresponde ao conjunto de regras de forma paramétrica  $u \rightarrow v$ , T corresponde ao conjunto de transformações de semelhança  $\tau$  em que se aplicam as regras e, G ao conjunto de funções que atribui valores aos parâmetros das regras.

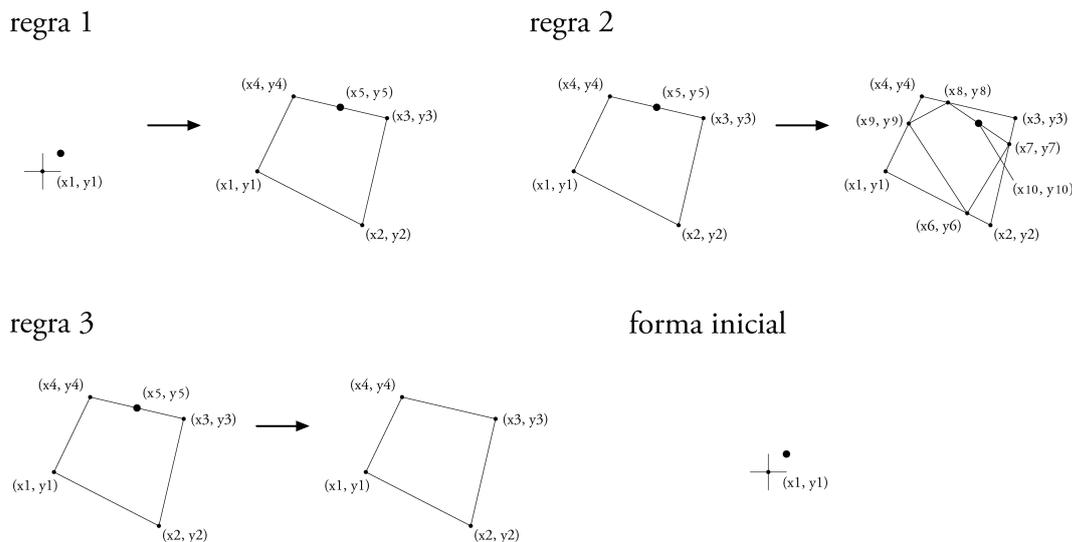


Figura 6. Gramática da forma paramétrica para a derivação de quadriláteros convexos inscritos em quadriláteros convexos. Apresentam-se três regras de forma, em que uma delas apresenta um esquema de funcionamento paramétrico (Regra 2) e, a forma inicial com rótulo. Gramática adaptada de (Stiny, 1980a).

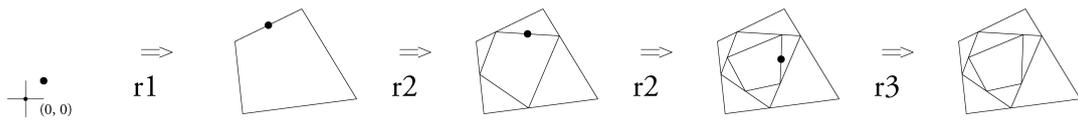


Figura 7. Derivação de uma forma dentro da linguagem da gramática definida na Figura 6.

Na Figura 6 ilustram-se as regras da forma e forma inicial apresentadas por Stiny como exemplo de uma GF paramétrica. Se comparada com a GF apresentada na Figura 4, esta GF diferencia-se sobretudo pelo facto da regra 2 introduzir uma relação espacial de funcionamento paramétrico. Esta regra adiciona um quadrilátero convexo inscrito num quadrilátero convexo, cuja localização dos vértices, definidos pelos pontos  $(x_n, y_n)$  são parâmetros variáveis e dependentes dos segmentos de reta definidos pelos pontos  $(x_{n-5}, y_{n-5})$  e  $(x_{n-4}, y_{n-4})$ .

A Figura 7 ilustra a derivação de uma forma pela aplicação da GF paramétrica ilustrada na Figura 6. Nesta derivação, interessa observar que nos passos 2 e 3, são adicionados quadriláteros cujas relações espaciais são distintas, apesar da aplicação da mesma regra 2. Neste exemplo verifica-se o potencial das GF paramétricas para a geração de formas de maior complexidade dentro da mesma linguagem.

#### *Linhas máximas, formas máximas, subforma e formas vazias*

Numa regra de forma, as formas representam-se através da combinação de um número finito de elementos, geralmente, pontos, linhas e planos. Cada um destes elementos tem um limite específico, designadamente na relação com forma global do projeto, pelo que dizem-se emersos (*embedded*) na forma. Um arquiteto que desenvolva gramáticas de forma terá a perceção dessa combinação de formas enquanto representações espaciais de um projeto. Ao longo do processo de derivação, a forma, ou uma parte da forma, transforma-se. Todas as formas, com exceção de pontos, podem ser decompostas e percecionadas em (sub)formas de diferentes modos, correspondentes a descrições específicas. Isto é, o processo de transformação/derivação da forma é condicionado pelo modo como se descreve a emersão (*embedding*) de uma subforma na forma global do projeto.

Para uma representação consistente da forma global do projeto, Stiny (1980a, p. 343) propõe a utilização de linhas máximas, correspondentes ao conjunto de elementos espaciais colineares que se sobrepõem totalmente ou parcialmente, ou que partilhem um limite. O facto de uma linha ser representada por um conjunto de linhas colineares não é relevante para a definição da forma, uma vez que o conjunto de linhas máximas é o menor conjunto de linhas necessárias para a definição da forma.

Nas gramáticas *Kindergarten* (Stiny, 1980a), as peças de *Fröbel* são o seu vocabulário formal, isto é, definem um conjunto finito de formas  $S$  usado como vocabulário para a criação de outras formas  $S^+$ . O conjunto de formas  $S$  pode conter subformas. A forma  $S1$  será uma subforma da forma  $S2$ , se a totalidade das suas linhas máximas estiver contida na forma  $S2$ , ou seja se  $S1 \leq S2$ . Deste modo, será possível definir um número ilimitado de pontos ao longo de uma linha máxima,

pelo que também se poderá definir um número infinito de subformas de uma linha máxima. Nas GFs paramétricas os pontos finais das linhas máximas são variáveis, constituindo um família de formas  $S$  parametrizada:  $g(S)$ .

Krishnamurti (1992a; 1992b) amplia o estudo da representação máxima de elementos espaciais de uma forma para planos e volumes (formas tridimensionais, cujos limites e geometrias são co-planares e co-hiperplanares). Este autor considera que um elemento espacial de uma forma é máximo se a sua combinação com outros elementos não resultar num elemento espacial maior. A representação máxima de uma forma é descrita em termos dos seus elementos espaciais máximos, consistindo na especificação mais pequena dessa forma. Essa representação provê uma definição clara da forma como um objeto geométrico composto por um conjunto indefinido de partes.<sup>38</sup> Similarmente às linhas máximas, todas partes consideram-se emersas na forma máxima e denominam-se de subformas dessa forma:  $x \rightarrow \text{prt}(x)$ . Uma subforma vazia não tem qualquer elemento espacial e está presente em todas as formas máximas:  $x \rightarrow .$

### *Marcadores e rótulos*

A introdução de símbolos geométricos e alfanuméricos nas regras de forma permite a atribuição de características não espaciais às formas (e subformas). Estes símbolos têm duas funções principais:

(1) A referenciação de subformas no conjunto de relações espaciais existentes na forma máxima, de modo a que a transformação formal descrita numa determinada regra da forma aplique-se de modo correto. Isto é, auxiliam ao controlo e correta aplicação de transformações formais. Neste caso, os símbolos são denominados de marcadores e são constituídos por formas geométrica. No caso da existência de vários marcadores com a mesma representação geométrica, estes podem ser enumerados pela adição de símbolos alfanuméricos de modo a distinguirem-se entre si.

(2) A introdução de restrições ao nível da sequência da aplicação das regras, do estágio de derivação, ou ainda, indicar a necessidade de mudança de gramática. Neste caso, os símbolos são genericamente denominados de rótulos e, normalmente, representados por símbolos alfanuméricos, associados ou não a um elemento da forma. O interesse dos rótulos verifica-se sobretudo na concatenação do processo de derivação com a estrutura recursiva da gramática. A este propósito ver neste subcapítulo a secção *Sistemas operativos de GFs*.

A utilização de uma regra de forma é dependente da correspondência entre a forma do lado esquerdo da regra e a subforma alvo de derivação. Essa correspondência designa-se de similaridade, mesmo que implique uma transformação isométrica da forma.

Importa referir que o(s) rótulo(s) e ou marcador(es) associados à forma do lado esquerdo da regra devem coincidir com os seus equivalentes que referenciam a subforma. Deste modo, a função de controlo da aplicação das regras também se estende à própria forma pela verificação de similaridade entre ela e a subforma.

---

<sup>38</sup> "(...) the maximal representation provides a clear and clean definition of a shape as a definite geometrical object with indefinitely many geometrical parts, a prerequisite for any decent generative formalism for shapes." (Krishnamurti, 1992b, p. 287).

Na gramática da forma *Ice-ray* (Stiny, 1977) o controlo da aplicação das regras resulta da associação de um marcador — um símbolo  $\bullet$  — e da similaridade da forma antecedente com a subforma em derivação. Nesta gramática, o número de lados dos polígonos, relativos a subformas que compõem a forma máxima, condicionam a regra a aplicar na sua subsequente subdivisão (ver Figura 8). A regra 1 é específica à divisão de polígonos triangulares, as regras 2 e 3 à divisão de polígonos quadriláteros e a regra 4 a divisão de polígonos pentagonais.

A Figura 9 ilustra a divisão de um polígono pentagonal pela aplicação da regra 4, a única que se aplica à divisão de um polígono pentagonal, uma vez que é a única forma que compõe o lado esquerdo das regras da gramática detentora de similaridades com a subforma em derivação.

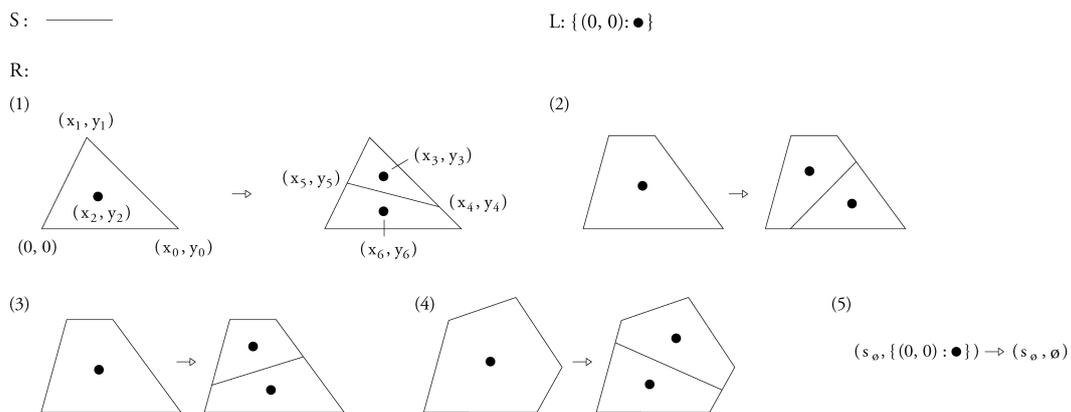


Figura 8. Conjunto de regras da gramática *Ice-Ray* (Stiny, 1977, p. 94). O número de lados dos polígonos da forma do lado esquerdo das regras 1 a 4, condicionam a subforma a que poder-se-á aplicar cada uma das regras.

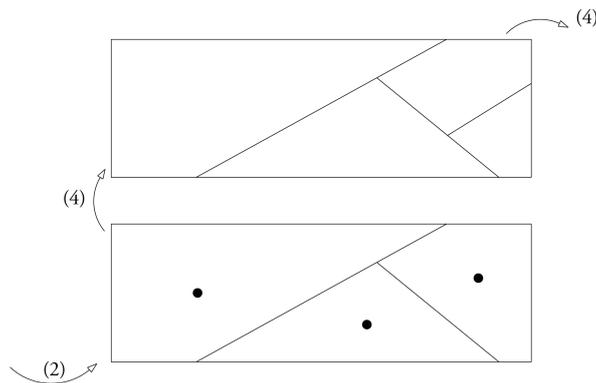


Figura 9. A terceira iteração na derivação de uma grelha *Ice-Ray*, conforme ilustrado por Stiny (1977, p. 94), consiste na aplicação da regra que permite a subdivisão de um polígono pentagonal, ou seja, a regra 4.

Nas regras ilustradas na Figura 8, as transformações espaciais ocorrem não porque a similaridade existente entre a forma do lado esquerdo da regra e a subforma em derivação seja total, mas porque as formas são topologicamente semelhantes e descritas em termos paramétricos, o que permite-lhes variações formais dentro de determinadas condições.

Os marcadores e os rótulos podem ser apagados durante o processo de derivação de projeto. Na Figura 8 está ilustrada a regra 5 da gramática *Ice-Ray*, que permite o apagamento do marcador  $\bullet$ ,

referente à localização dos polígonos que compõem a forma<sup>39</sup>. Este tipo de regras é comumente utilizado como regra final para exclusão de todo o tipo de marcadores e rótulos da forma final, permitindo que a solução final se resuma à sua configuração formal e espacial.

Em síntese, os marcadores e os rótulos permitem o controlo das regras a aplicar, bem como o modo como se aplicam, para que haja uma transformação da forma bem sucedida (dentro da linguagem da gramática generativa).

### *As dimensões das gramáticas de forma*

No artigo *What is a design?*<sup>40</sup>, Stiny (1990) refere que quando se pensa no significado do projeto, naquilo que o caracteriza, pensamos no processo que levou à sua conceção, ou no conjunto de representações gráficas em que este é descrito. Neste processo também se incluem descrições simbólicas (diagramas, algorítmicas, etc.) para a caracterização e síntese de relações dos vários aspetos (programa, construção, forma, etc.) em que o projeto se desenvolve. Deste modo, a estruturação destas descrições em álgebras, sintetizam paradigmas para a construção de uma GF.

Formas compostas por pontos, linhas, planos ou sólidos pertencem a um produto cartesiano de álgebras específico, providenciando os principais objetos e mecanismos usados nas GFs. Stiny (1991, p. 171; 2006, p. 180) refere três propriedades que determinam as álgebras da forma numa GF:

(1) a distinção das partes constituintes da forma, isto é, dos seus elementos básicos através da relação existente entre a forma e as suas subformas.;

(2) a combinação de partes da forma pelo recurso a operações booleanas (a adição, subtração e combinação das partes);

(3) e transformações euclidianas (rotação, translação, homotetia, simetria, ou a composição destas), nesta especificação, as álgebras são enumeradas até três dimensões e organizadas segundo dois índices numéricos:  $U_{ij}$ .

O índice  $i$  determina a dimensão máxima dos elementos básicos da forma:

$i$	Álgebras	Elementos Básicos	Limites das formas
0	$U_{0j}$	Pontos	-
1	$U_{1j}$	Linhas	$U_{0j}$
2	$U_{2j}$	Planos	$U_{1j}$
3	$U_{3j}$	Sólidos	$U_{2j}$

<sup>39</sup> Neste caso, o lado esquerdo da regra referencia todos os símbolos  $\bullet$ , pertencentes ao conjunto de formas que compõem a forma  $S$ , transformando-os numa forma vazia ( $\emptyset$ ), isto é, apagando-os.

<sup>40</sup> *What is a design?* revisita alguns dos conceitos inerentes ao formalismo das gramáticas da forma, já enunciados por Stiny no artigo *Introduction to Shape Grammars* (1980): a noção de linha máxima; a incorporação de subformas em formas, ou conjuntos de linhas máximas; a aplicação de álgebras booleanas a formas.

O índice  $j$  determina a dimensão máxima em que estes elementos se combinam e transformam:

$j$	Álgebras	Dimensões
0	$U_{i0}$	Adimensional (forma vazia)
1	$U_{i1}$	Unidimensional
2	$U_{i2}$	Bidimensional
3	$U_{i3}$	Tridimensional

A forma de álgebra  $U_{0i}$  corresponde a uma forma constituída por apenas um ponto, pelo que o seu produto cartesiano será sempre unidimensional. Uma álgebra  $U_{12}$ , corresponde a uma forma composta por linhas que permitem a definição de geometrias bidimensionais. Uma álgebra  $U_{22}$ , é constituída por um plano que define apenas geometrias bidimensionais. Uma álgebra  $U_{32}$  não existe porque uma forma composta por um elemento sólido ( $i = 3$ ) não se define num produto cartesiano bidimensional ( $j = 2$ ), pelo que  $j \geq i$ . Pela combinação dos elementos básicos que compõem as formas com os limites determinados pelos mesmos resulta em dez álgebras  $U_{ij}$  das formas possíveis:

$i \setminus j$	$\emptyset$	1D	2D	3D
Pontos	$U_{00}$	$U_{01}$	$U_{02}$	$U_{03}$
Linhas		$U_{11}$	$U_{12}$	$U_{13}$
Planos			$U_{22}$	$U_{23}$
Sólidos				$U_{33}$

Com a publicação de *Weights*, Stiny (1992) expande a utilização de álgebras da forma  $U_{ij}$ , para os marcadores e pesos. Como referido anteriormente, as GFs recorrem a marcadores para referenciar as transformações operadas nas formas iniciais. Tal como as formas, os marcadores também são constituídos por elementos básicos como pontos, linhas, planos e sólidos. Para expandir as possibilidades de combinação e interação nas operações de transformação de formas, Stiny propõem a utilização de álgebras  $V_{ij}$  para os marcadores de formas. A definição das álgebras  $V_{ij}$  é similar à das álgebras  $U_{ij}$ , e o seu funcionamento será paralelo às álgebras  $U_{ij}$ .

Seguindo a estratégia das álgebras  $U_{ij}$  e  $V_{ij}$ , Stiny propõem a implementação de álgebras que estruturam a utilização de pesos: as álgebras  $W_{ij}$ . Estas álgebras permitem a hierarquização de elementos de projeto pelo recurso a variações da representação gráfica dos seus elementos básicos, como a utilização de diferentes tipos de linhas, espessuras, cores e simbologias, resultando na especificação de propriedades de componentes do projeto.

### *Estrutura recursiva<sup>41</sup> das gramáticas de forma*

A estrutura recursiva de uma GF corresponde ao sistema descritivo de relações existentes entre as regras de uma GF (Knight T. W., 1994, pp. 70-74), caracterizando a sequência da sua aplicação para a derivação de soluções. A estrutura recursiva das GFs pode ser representada num grafo em árvore onde é assinalada a regra ou regras que se seguem após a aplicação de uma determinada regra. Este grafo explicita as diferentes combinações possíveis para se alcançar uma solução. Existem cinco tipos de deslocamentos na sequência de aplicação de regras:

(1) a deslocamento linear, em que após aplicação de uma regra aplica-se a regra com índice seguinte:  $R_n \Rightarrow R_{n+1}$ ;

(2) a deslocamento inversa, em que após a aplicação de uma regra aplica-se uma regra com o índice anterior:  $R_n \Rightarrow R_{n-1}$ , esta deslocamento não se pode aplicar na regra inicial e na regra de terminação;

(3) uma deslocamento interna, em que se repete a regra mais do que uma vez, o controlo do número de iterações poderá ser feito por alguma condição que esteja descrita na regra, ou determinada pelo utilizador da gramática:  $R_n \Rightarrow R_n \Rightarrow R_n \Rightarrow (\dots)$ .

Se considerarmos que estes três tipos de deslocamentos podem ocorrer com movimentos para regras que não sejam contíguas, teremos de considerar mais dois tipos de deslocamentos. Para uma regra com índice  $n$  sucede-se a aplicação de outra regra num movimento com uma deslocamento  $m > 1$ , e sintetizam da seguinte forma:

(4) se no sentido normal da derivação:  $R_n \Rightarrow R_{m+n}$ ;

(5) se no sentido inverso da derivação:  $R_n \Rightarrow R_{m-n} \wedge n > m$ .

Se numa determinada regra, a estrutura recursiva da GF ramifica-se em múltiplas deslocamentos possíveis, existem três tipos de mecanismos para controlar a escolha da regra que se sucede: (1) por decisão do utilizador; (2) por mecanismos de controlo interno; (3) por mecanismos de controlo externo.

Em suma, a estrutura recursiva das GFs coordena a sequência de aplicação de regras dentro do grau de predeterminação previsto na linguagem de projeto.

### *Gramáticas descritivas*

A forma inicial e o conjunto de regras de forma que compõem uma GF fornecem a “maquinaria” básica para a derivação de soluções de projeto, isto é, dos seus componentes espaciais representados nas suas linhas e formas máximas. Todavia, as regras de forma e os componentes espaciais do projeto não constituem a totalidade de conhecimento que informa o projeto. Stiny (1981, p. 257) propõe o conceito de função ou gramática descritiva ao conjunto de regras para a descrição de características do projeto (função, tipológica, significado, etc.) que as GFs não contemplam.

Nas gramáticas de descrição as declarações são simbólicas, nas gramáticas da forma as declarações consistem em descrições de forma. A relação entre uma gramática descritiva e uma GF é tal

---

<sup>41</sup> Para compreensão da amplitude de aplicação de estruturas recursivas em linguagem, computação e arte, ver o capítulo V: *Estruturas e processos recursivos*, do livro *Gödel, Escher, Bach: Laços Eternos*, de Douglas Hofstadter, inicialmente publicado em 1979.

que, para cada regra de forma, existe uma ou mais regras descritivas correspondentes (Duarte, 2007, p. 53), pelo que, dentro determinadas restrições é possível traduzir as regras de uma gramática descritiva numa GF.

### *Gramáticas paralelas*

As gramáticas paralelas, ou compostas (Stiny G. , 1990; Stiny G. , 1992), são gramáticas que contêm várias gramáticas a funcionar em simultâneo para uma mesma gramática. Estas GFs desenvolvem-se com o objetivo de simplificar a resolução de problemas complexos pela sua segmentação em problemas menores. Este tipo de gramáticas é propício à representação de diferentes propriedades da forma (do projeto) em diferentes computações, permitindo a interação entre elas. A natureza dessas representações pode ser simbólica, como ocorre nas gramáticas descritivas, ou visual, como por exemplo, em gramáticas para a derivação de plantas, cortes, alçados, modelos tridimensionais, etc. (Duarte, 2007, p. 54), permitindo assim a integração de representações com diferentes álgebras.<sup>42</sup>

A gramática da *Malagueira* (Duarte, 2001), a gramática *Yingzao fashi* (Li A. I.-k., 2001), a gramática das casas *Hayat* (Çolakoğlu, 2005) e a gramática da sistematização da coluna de Alberti (Coutinho, 2014) são exemplos de GFs que implementam gramáticas paralelas, com vista ao desenvolvimento de múltiplas representações do projeto e gestão da interdependência de parâmetros que operam em diferentes dimensões da GF.

### *Sistemas operativos de gramáticas de forma*

Aquilo que metaforicamente designamos de sistema operativo de GFs corresponde ao sistema de concatenação dos agentes da gramática que asseguram a sua aplicabilidade: a representação formal das regras e os marcadores e rótulos, e a estrutura recursiva da gramática. Estes últimos são responsáveis pela introdução de restrições no modo como a gramática opera. No artigo *Shape grammars: six types* (Knight T. W., 1999, p. 16) é proposta uma classificação<sup>43</sup> para as GFs que caracteriza seis tipos de sistemas em que as GFs operam. Esta classificação realiza-se pela variação de duas categorias genéricas de restrições para o controlo da aplicação de regras nas GFs: (1) restrições no formato das regras, relativas às formas e marcadores que compõe a regra, e (2) restrições na ordem de aplicação das regras, nomeadamente, na sequência e número de vezes que uma regra se aplica.

Estas restrições poderão ser internas, se relativas à forma e marcadores das regras, ou externas, se empregues por uma estrutura de controlo externa à gramática. No primeiro caso, dá-se como

---

<sup>42</sup> Os artigos *What is a design?* e *Weights* (Stiny G. , 1990; Stiny G. , 1992) demonstram que através da combinação e interação de várias álgebras em simultâneo (resultando em formas compostas) auxiliadas por descrições de esquemas de relações poderão resultar em gramáticas de forma com um grande grau de complexidade e variedade, mas cujo conjunto de soluções de projeto são definidores de uma linguagem.

<sup>43</sup> Tal como na teoria da linguagem formal, para gramáticas unidimensionais escritas e simbólicas, Chomsky formula uma classificação de tipos de gramáticas, considerando a resolubilidade e irresolubilidade de cada tipo de gramática. Knight dá dois motivos para que a categorização das GFs não siga estritamente a elaborada para as gramáticas simbólicas. (1) As GFs transformam formas bidimensionais e tridimensionais, enquanto que as gramáticas simbólicas transformam conjuntos de símbolos de uma dimensão. (2) Uma forma é divisível de infinitos modos, enquanto que um conjunto de símbolos não o é.

exemplo o esquema de marcadores da gramática das Vilas de Palladio (Stiny & Mitchell, 1978), que ordenam a aplicação das regras nos distintos estágios da gramática.<sup>44</sup> Por oposição, ainda que com a mesma função, o recurso à indexação e numeração das regras poderá ser um esquema externo à gramática que garante a ordem de aplicação das regras, isto é, uma esquema representativo da estrutura recursiva da GF. Com efeito, esquemas externos para a ordenação da gramática podem traduzir-se em esquemas internos, pela adição de marcadores de estado. Knight estabelece ainda uma analogia entre GFs que recorrem a sistemas externos para o controlo da ordem com *regulated rewriting systems* – gramáticas simbólicas com mecanismos para controlo da aplicação de regras.

A partir destas duas categorias genéricas de restrições, tendo em vista o controlo da aplicação das regras, Knight propõe seis classificações para sistemas em que operam as GFs:

(1) As gramáticas básicas<sup>45</sup> caracterizam-se por conterem restrições ao nível do formato e ordem das regras. Funcionam pela subsequente aplicação de regras de adição<sup>46</sup> com marcadores<sup>47</sup>, estando as regras ordenadas linearmente, pelo recurso a uma indexação ( $R1, R2, R3, \dots, Rn$ ) e, cada regra implica uma transformação similar à forma com marcador adicionada pela regra antecedente.

Estas restrições implicam a existência de apenas um processo de derivação, gerando apenas uma solução, pelo que trata-se de um processo generativo determinístico. Apesar da previsibilidade das soluções que gera, poderão derivar soluções com grande grau de complexidade se operadas sucessivas iterações de derivação.

As gramáticas básicas, conforme definidas por Knight, só utilizam regras de adição, e por este motivo, a solução final apresentará o conjunto de formas correspondentes ao processo de derivação formal, mas também o conjunto de marcadores utilizado no controlo de aplicação das regras. O utilizador da gramática poderá considerar que a linguagem da gramática define-se pelo conjunto de formas e marcadores, ou especificar apenas um subconjunto, correspondente à forma ou marcadores.

(2) As gramáticas básicas não determinísticas<sup>48</sup> são similares às gramáticas básicas, com a exceção da ordem e aplicação das regras ser parcialmente ordenadas, isto é, a sua previsibilidade não é total.

Em geral, uma gramática não determinística implica que em determinado momento do processo generativo se seleccione a derivação de uma solução em detrimento de outras possíveis. Knight enumera três procedimentos de selecção:

---

<sup>44</sup> Knight refere ainda que diferentes tipos de marcadores/rótulos de estado, são definidos para o controlo da ordem de aplicação das regras (Knight T. W., 1983b).

<sup>45</sup> As gramáticas apresentadas no artigo *Shape grammars and color grammars in design* (Knight T. W., 1994) são generalizações de gramáticas básicas. Neste texto, as gramáticas de cor são apresentadas como generalizações de gramáticas de forma, em que diferentes qualidades do projeto, como a cor, textura, material, ou função são codificadas em regras de composição.

<sup>46</sup> Em geral, as regras de adição são regras que adicionam uma forma com marcador(es) de acordo com uma relação espacial específica. Formalmente correspondem a  $S_i \rightarrow S_i + T_i$ , em que a forma inicial  $S_i$  e, a forma adicionada  $T_i$  contém marcadores de modo a evitar de relações simétricas. A aplicação linear de regras de adição ocasiona que as soluções geradas em cada iteração generativa correspondam a uma parte ( $\leq$ ) da solução gerada na iteração seguinte.

<sup>47</sup> Geralmente, a adição de marcadores para a restrição de transformações formais que ocorrem numa regra é feita pela adição de pontos localizados em lugares específicos das formas e, dependentes da transformação que a regra opera junto da forma inicial. A propósito da representação e função de marcadores ver o artigo *Weights* (Stiny G., 1992).

<sup>48</sup> Na GF dos edifícios sagrados a versatilidade da gramática não está na ordem das regras, mas na diversidade de parâmetros que diversas regras podem adotar para o dimensionamento das formas.

(a) A escolha de uma regra entre várias regras que podem ser aplicadas a uma ou diferentes partes da forma antecedente. Este procedimento permite que uma, ou várias partes do projeto, possam ser substituídas pela mesma forma, ou formas diferentes. O utilizador deverá escolher a regra, e respetiva transformação espacial a aplicar a uma parte específica do projeto. O processo de derivação poderá ser auxiliado por um mecanismo externo de indexação das regras que providenciará um controlo parcial da ordem de aplicação das regras.

(b) Existe apenas uma regra que pode ser aplicada a mais do que uma parte da forma antecedente, permitindo que diferentes partes do projeto possam ser substituídas por formas similares. O utilizador deve escolher a parte em que aplica a regra.

(c) Existe uma regra que pode aplicar diferentes transformações a uma parte da forma antecedente. Permite que uma parte do projeto possa ser substituído por várias formas similares, mas com relações espaciais distintas. Nesta situação o utilizador deverá definir a relação espacial preferencial. Um quarto procedimento poderá considerar a combinação de dois ou três destes procedimentos.

Tal como nas gramáticas básicas, nas gramáticas básicas não determinísticas, a linguagem da gramática define-se no conjunto de soluções e marcadores gerados, podendo-se especificar subconjuntos deste par para definição de linguagens específicas. Em certa medida, as gramáticas não determinísticas correspondem à combinação de gramáticas básicas, facto que lhes confere uma maior capacidade exploratória de projeto. Conforme os procedimentos previstos na gramática, explicitados anteriormente, a exploração formal do projeto e a solução final adotada, dependerão dos objetivos e condições impostas pelo utilizador da gramática no processo de seleção.

(3) As gramáticas sequenciais<sup>49</sup>, tal como as duas classificações anteriores, implicam restrições no formato e ordem das regras, contudo não há obrigatoriedade das regras serem aplicadas às formas com marcadores derivados na regra anterior. Nas gramáticas sequenciais os marcadores das formas  $S_i$  e  $T_i$  poderão ter várias configurações, ou não conterem qualquer tipo de marcadores.

Com efeito, como as regras podem prever a subtração de marcadores, estas regras não serão necessariamente regras de adição. Contudo, as gramáticas sequenciais prevêm uma ordem de aplicação das regras, devido à existência de marcadores do lado esquerdo da regra, as quais implicam condições específicas para a transformação espacial operada pela regra. Assim, as gramáticas sequenciais são determinísticas, uma vez que não verificam nenhum dos três procedimentos implícitos a regras não determinísticas relatados mais acima<sup>50</sup>.

---

<sup>49</sup> A GF dos edifícios sagrados recorre a este tipo de restrições. Regras geram formas com etiquetas que serão transformadas por regras não imediatamente subsequentes. Esta estratégia relaciona-se sobretudo com os estágios de derivação em que se divide a gramática, justificando-se pelo mesmo motivo que se justifica essa mesma segmentação. Por exemplo, as primeiras regras do estágio 2, regras relativas à definição do contorno do paramento exterior das paredes da cela, adicionam marcadores essenciais à localização das linhas máximas das desse perímetro (p.e. da cela), contudo, apenas após a definição do perímetro da área do templo estar definido, no final desse estágio, é que no âmbito do estágio seguinte - *Estágio 3: extrusão das paredes*, é que aplicam-se regras cuja forma e respetivos marcadores são dependentes da regra derivada várias iterações antes.

<sup>50</sup> As gramáticas sequenciais podem ser entendidas como conjuntos de gramáticas básicas. Ambas utilizam regras que adicionam formas ao projeto e, o facto das gramáticas sequenciais permitirem o apagamento de marcadores não se traduz na diferenciação de possibilidades generativas (transformação espacial) mas, num maior controlo sobre a sequência de regras a aplicar. Por este motivo, e apesar das gramáticas sequenciais deterem menos restrições do que as gramáticas básicas, têm a mesma capacidade generativa. Porém, se consideramos o facto das gramáticas sequenciais não deterem tantas restrições resulta numa maior possibilidade de interação do utilizador no processo de derivação e ainda, numa maior economia de regras, isto é, detêm a mesma capacidade generativa com um menor número de regras.

Knight (1999, p. 24) sugere que a utilização de um regra que apague marcadores deve ocorrer na etapa final do processo de derivação, uma vez que a não existência de etiquetas impossibilita a continuidade de aplicação de transformações espaciais. Contudo, se considerarmos que em determinada etapa da derivação existem diversos marcadores, com funções distintas, poder-se-á recorrer à utilização de uma regra que apague um marcador e encerrando o processo generativo de apenas uma parte do projeto, uma vez que os restantes marcadores permitirão a continuidade de derivação de outras partes do projeto. Inclusive, estas partes podem estar contidas ou conter as partes do projeto referenciadas pelos marcadores entretanto apagados.<sup>51</sup>

(4) As gramáticas aditivas têm restrições ao nível do formato das regras, sendo todas elas de adição e não têm restrições ao nível da ordem das regras. Por este motivo, tal como referido para as gramáticas básicas não determinísticas, as gramáticas aditivas poderão ser não determinísticas. Uma vez que não existe uma sequência pré-determinada na aplicação das regras a sua capacidade generativa é maior do que os anteriores tipos de gramáticas enunciados. Simultaneamente, as diferentes possibilidades de combinação de sequências de aplicação das regras dependem de escolhas do utilizador, o que se traduz num maior grau de liberdade de experimentação de soluções.

(5) As gramáticas determinísticas, ao contrário das anteriores, detêm restrições apenas na ordem de aplicação das regras, particularidade que determina que opere apenas uma derivação (finita ou infinita). Para além do recurso à indexação das regras, esta gramática pode ainda recorrer de a diferentes tipos de etiquetas para reforçar o controlo de transformações espaciais que ocorrem para determinada forma, ou parte da forma, antecedente.

(6) Por último, Knight define as gramáticas irrestritas, como sendo gramáticas que não detêm restrições ao nível do formato das regras, nem na ordem da sua aplicação. Segundo a autora, estas gramáticas correspondem às GFs e linguagens convencionadas por Stiny (1980)<sup>52</sup>. A ausência de restrições exclui deste grupo as GFs paramétricas e as gramáticas de cor, ou gramáticas em que se introduza qualquer outro mecanismo interno ou externo do formalismo das gramáticas. Em síntese, Knight afirma que nenhuma destas extensões será computacionalmente mais poderosa do que as GF convencionais ou irrestritas.

Tabela 2. Diferentes tipos de gramáticas de forma e tipos de restrições usados na sua definição. Diagrama adaptado de: (Knight T. W., 1999, p. 17)

Restrições	formato das regras	à forma antecedente	sequência das regras
(1) gramática básica	•	•	•
(2) gramáticas básicas não determinísticas	•		•
(3) gramáticas sequenciais	•		•
(4) gramáticas aditivas	•		
(5) gramáticas determinísticas	•		•
(6) gramáticas irrestritas			

<sup>51</sup> Na gramática dos edifícios sagrados, este processo é adotado em diversas fases de derivação de soluções. Por exemplo, no conjunto de regras para a abertura das capelas laterais, interessa-nos a adição de uma etiqueta, *px*, um ponto de referência temporário, que permite a repetição da *Regra 3a*, até que a totalidade das aberturas das capelas esteja definida, sendo apagado pela *Regra 3c*.

<sup>52</sup> As GFs convencionadas por Stiny recorrem a transformações lógicas para operar o desenvolvimento de linguagens de projeto mas pretendem incluir a capacidade semântica e visual do utilizador.

As gramáticas aditivas e as gramáticas determinísticas adotam apenas uma das duas restrições da gramática caracterizada mais acima (formato das regras e ordem de aplicação das regras), enquanto as gramáticas irrestritas não adotam nenhuma das restrições. O sistema de restrições utilizado numa GF implica diferentes capacidades generativas e diferentes graus de interação com o utilizador da gramática, os quais variam com o grau de determinismo da gramática. A definição do sistema de restrições de uma GF representa a própria linguagem.

### 2.2.3. Gramáticas de forma e linguagem de projeto

#### *Gramáticas de forma originais e analíticas*

As GFs têm sido fundamentalmente utilizadas com dois propósitos. O primeiro corresponde ao desenvolvimento de linguagens de projeto originais, dedicando-se à criação e descrição de GFs que não tomam como referência projetos existentes para a criação das suas regras, e por este motivo designam-se de gramáticas originais. O segundo corresponde a abordagens que têm o objetivo de explicitar linguagens de projeto existentes, geralmente discriminadas por autor ou tipologia, mas que também têm sido aplicadas para a geração de novas soluções dentro da linguagem. Estas gramáticas denominam-se de analíticas.

O primeiro artigo publicado sobre GFs, em 1972, por George Stiny e Jim Gips, intitulado *Shape Grammars and the Generative Specification on Painting and Sculpture*, serve o propósito de ilustrar uma GF original dedicada à geração de uma linguagem pictórica. Outro exemplo é a gramática *Kindergarten* (Stiny G., 1980b), uma GF original que implementa uma alternativa computacional ao método *kindergarten*, um método de educação infantil de Friedrich Fröbel (1782-1852) que utiliza blocos construtivos como vocabulário para a geração de formas.<sup>53</sup> Knight (1992)<sup>54</sup> recorre à gramática *Kindergarten* como metodologia de ensino de projeto por constatar que é facilmente compreensível para quem não domine técnicas de composição formal e simultaneamente rica ao nível da emergência de formas, uma qualidade detetável na maioria das GFs originais.

Verifica-se que os arquitetos têm se dedicado mais ao desenvolvimento de GFs analíticas do que GFs originais, nomeadamente para o estudo de linguagens de projeto. Como referido, as GFs analíticas permitem analisar e descrever sistemas de projeto já existentes. Geralmente, o processo de inferência da gramática inicia-se pela análise de um conjunto finito de exemplares dessa linguagem (o *corpus* da gramática), constando de um processo de inferência do vocabulário formal e regras de forma e, culminando na possibilidade de derivação de soluções dentro da linguagem (novas e existentes).

A gramática das *Villas* de Palladio (Stiny e Mitchell, 1978) foi a primeira GF dedicada à análise de um sistema arquitetónico para geração de projetos. O sucesso desta gramática, tanto ao

---

<sup>53</sup> Esta gramática tem ainda a particularidade de ser a primeira gramática da forma a utilizar a tridimensionalidade espacial, abrindo caminho para as futuras subseqüentes gramáticas tridimensionais.

<sup>54</sup> Knight recorre igualmente aos blocos de Fröbel para explicitar as gramáticas de cor (*The Representation of Form and Color in Designs*, 1993). O artigo *Color Grammars: Designing with Lines and Colors* (Knight T. W., 1989) estabelece os princípios das gramáticas da cor, definindo-as como a extensão de uma gramática da forma, na qual qualquer qualidade da forma, tal como a cor, poderá ser codificada na forma inicial e regras da gramática.

nível analítico, na inferência de regras que especificam a sua linguagem, como ao nível da capacidade generativa de novas *Villas*, estimulou o desenvolvimento de novas experiências de GFs analíticas.

De entre as muitas GFs já desenvolvidas com o intuito do estudo de linguagens de projeto, destacam-se as seguintes: a gramática das costas das cadeiras Hepplewhite (Knight T. W., 1980); a gramática das salas de chá japonesas (Knight T. W., 1981); a gramática das casas na pradaria de Frank Lloyd Wright (Koning & Eizenberg, 1981); a gramática das casas vernaculares de Taiwan (Chiou & Krishnamurti, 1995); a gramática dos *bungalows* de Buffalo (Downing & Flemming, 1981); a gramática das casas *Queen Anne* (Flemming, 1987); a gramática das igrejas cistercienses (Krüger & Silva, 1998); a gramática das casas da Malagueira de Álvaro Siza Vieira (Duarte, 2001); a gramática de arquitetura tradicional chinesa *Yingzao fashi* (Li A. I.-k., 2001); a gramática das casas *Hayat* na Bósnia (Çolakoğlu, 2005).

As abordagens adotadas nestas gramáticas variam consoante o objetivo para o qual foram desenvolvidas e complexidade das linguagens de projeto analisadas. A gramática das casas da pradaria de Wright inicia o desenvolvimento de álgebras tridimensionais para a implementação de princípios de composição volumétricos. A gramática das casas *Queen Anne* desenvolve duas gramáticas paralelas, uma para geração das plantas e outra para articulação tridimensional das plantas. A gramática *Yingzao fashi* é desenvolvida com o intuito de ser utilizada no ensino linguagens de projeto, nomeadamente, da arquitetura tradicional chinesa.

Finalmente, com o desenvolvimento da gramática da Malagueira, Duarte propõe o conceito de gramática discursiva, uma gramática que conjuga a componente descritiva com a componente de geração formal. A gramática da Malagueira pode ainda ser considerada simultaneamente analítica e original. Conforme referido pelo seu autor (2007, pp. 52-53), esta gramática socorre-se da metodologia inerente às gramáticas analíticas, uma vez que formula-se através da análise das casas da Malagueira já construídas. No entanto, por se tratar de um projeto que ainda estava em curso, pode beneficiar da participação do arquiteto Siza Vieira na definição de regras para a geração de novas soluções de projeto. Por este motivo, e apesar de não se trata de uma gramática desenvolvida de raiz, situa-se entre as gramáticas analíticas e originais.

### *A gramática Kindergarten e a definição de linguagens de projeto*

O artigo *Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts* (Stiny G. , 1980b) apresenta a gramática *Kindergarten* e tem como objetivo explicitar o desenvolvimento de linguagens de projeto através de GFs. Stiny recorre ao método *kindergarten*, o qual implica um vocabulário de elementos construtivos (as peças de Fröbel) e um sistema de categorias de formas. Estas categorias são invocadas para sugerirem possibilidades de criação de novas formas pela combinação de elementos do vocabulário. Cada combinação do vocabulário e de um sistema de categorias poderá ser considerado para a definição de uma linguagem formal. Subsequentemente, Stiny sugere que uma linguagem de projeto possa ser definida a partir de regras que utilizam um vocabulário de elementos construtivos, propondo um modelo de cinco fases (Figura 10) para a construção de uma linguagem de projeto pela definição de uma GF: (1) definir um vocabulário de formas para a construção da linguagem; (2) determinar relações espaciais entre as formas do vocabulário; (3) especificar regras de forma que

fixem as relações espaciais enunciadas; (4) combinar formas no vocabulário para gerar formas iniciais, sendo que as regras de forma aplicam-se recursivamente a formas iniciais para a derivação do projeto; (5) compilar as GFs pelo conjunto de regras de forma e forma inicial, definindo uma linguagem de projeto.

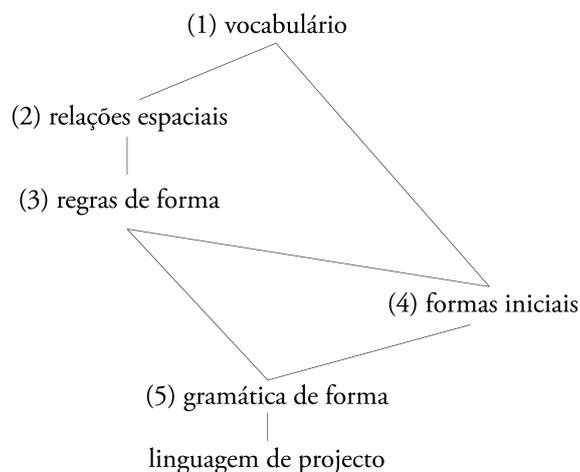


Figura 10. “Um programa construtivo para a definição de linguagens de projeto”. Fonte: (Stiny G., 1980b).

O sistema de valores enunciado, bem como a metodologia para a inferência de GFs analíticas constituem referências para o desenvolvimento das GFs desenvolvidas nesta tese. Esta opção justifica-se pelo facto do tratado de Alberti poder ser entendido como um conjunto de algoritmos que explicitem como desenhar edifícios de acordo com os cânones da Arquitetura Clássica.

### *A gramática das Villas de Palladio e a caracterização de linguagens de projeto existentes*

Como mencionado, a gramática das *Villas* de Palladio é paradigmática no desenvolvimento e aplicação de GF para o estudo de linguagens arquitetónicas.<sup>55</sup> Esta GF analítica centra-se na geração das plantas do piso térreo um aspeto característico das *Villas*.

As regras são inferidas pela análise conjunta das descrições textuais e desenhos ilustrativos das *Villas* publicadas no tratado de Palladio, o *Quattro Libri dell'Architettura* (1570). Pela análise deste *corpus*, Stiny e Mitchell definem uma série de parâmetros e regras que sistematizam os princípios compositivos das plantas das *Villas*. A gramática é segmentada em oito estágios de geração, correspondentes ao faseamento e variedade de regras implícitas à sistematização que Palladio propõe para a definição das plantas térreas das *Villas*: (1) definição de uma grelha que estabelece a dimensão, proporção e compartimentação global da planta; (2) adição das paredes exteriores; (3) compartimentação dos espaços interiores; (4) deslocação das paredes interiores de modo a diferenciarem-se as dimensões dos compartimentos; (5) definição das entradas e pórticos; (6) adição de colunas nos pórticos de entrada; (7) abertura de janelas e portas; (8) eliminação de marcadores e linhas auxiliares à definição da forma.

<sup>55</sup> A gramática das *Villas* de Palladio é também uma das primeiras gramáticas paramétricas.

Ao longo da descrição das regras que compõem a gramática, os autores demonstram a sua aplicação na geração de uma planta com um único eixo de simetria, a planta térrea da *Villa Malcontenta*. A Figura 11 e a Figura 12 ilustram a derivação da planta da *Villa Poiana* (Vicenza, 1526), um projeto de Palladio, pela aplicação passo a passo das regras da forma, na sequência de estágios definidos na estrutura recursiva da gramática.

Stiny e Mitchell (1978) sugerem que a caracterização de uma linguagem de projeto depende do seu valor explicativo e preditivo, o qual verifica-se em três condições (testes):

- (1. teste descritivo) deve esclarecer as características comuns subjacentes aos projetos do *corpus*;
- (2. teste analítico) deve fornecer as convenções e critérios para determinar se um projeto externo ao *corpus* pertence à linguagem;
- (3. teste sintético) deve providenciar mecanismos de composição para a geração de novos projetos dentro da linguagem.

Neste artigo o valor descritivo da gramática das *Villas* de Palladio é verificado pela derivação da planta da *Villa Malcontenta*, isto é, demonstrou que as regras da gramática elucidam a estrutura e aparência de um projeto do *corpus* da GF.

O exemplo mais paradigmático de um teste analítico foi realizado no âmbito da avaliação da gramática da Malagueira. Duarte mostra que a GF consegue gerar uma casa projetada por Siza para a Malagueira que não pertence ao *corpus* da gramática (Duarte, 2001, pp. 235-255). Koning & Eizenberg (1981, p. 320) provam que a GF das casas da pradaria de Frank Lloyd Wright detém valor sintético ao gerarem três casas que não pertencem ao *corpus*, designadamente a casa *Stiny*, a casa *Mitchell* e a casa *March*.

A aplicação destes testes na avaliação de GFs é discutida por Duarte (2001, pp. 37-38), propondo a reformular a especificação destes testes nas seguintes questões:

- (1. teste descritivo) Poderá a gramática gerar projetos no *corpus*?
- (2. teste analítico) Poderá a gramática gerar projetos existentes não incluídos no *corpus*?
- (3. teste sintético) Poderá a gramática gerar projetos no mesmo estilo?

Em suma, com a publicação de *The Palladian Grammar*, Stiny e Mitchell demonstram que o formalismo e sintaxe das GFs é adequado para o estabelecimento de uma síntese analítica de linguagens de projeto. Este facto amplia as possibilidades metodológicas para a caracterização de um determinado cânone arquitetónico, e conseqüentemente, expandem as ferramentas da prática, mas sobretudo, da teoria e historiografia da arquitetura.

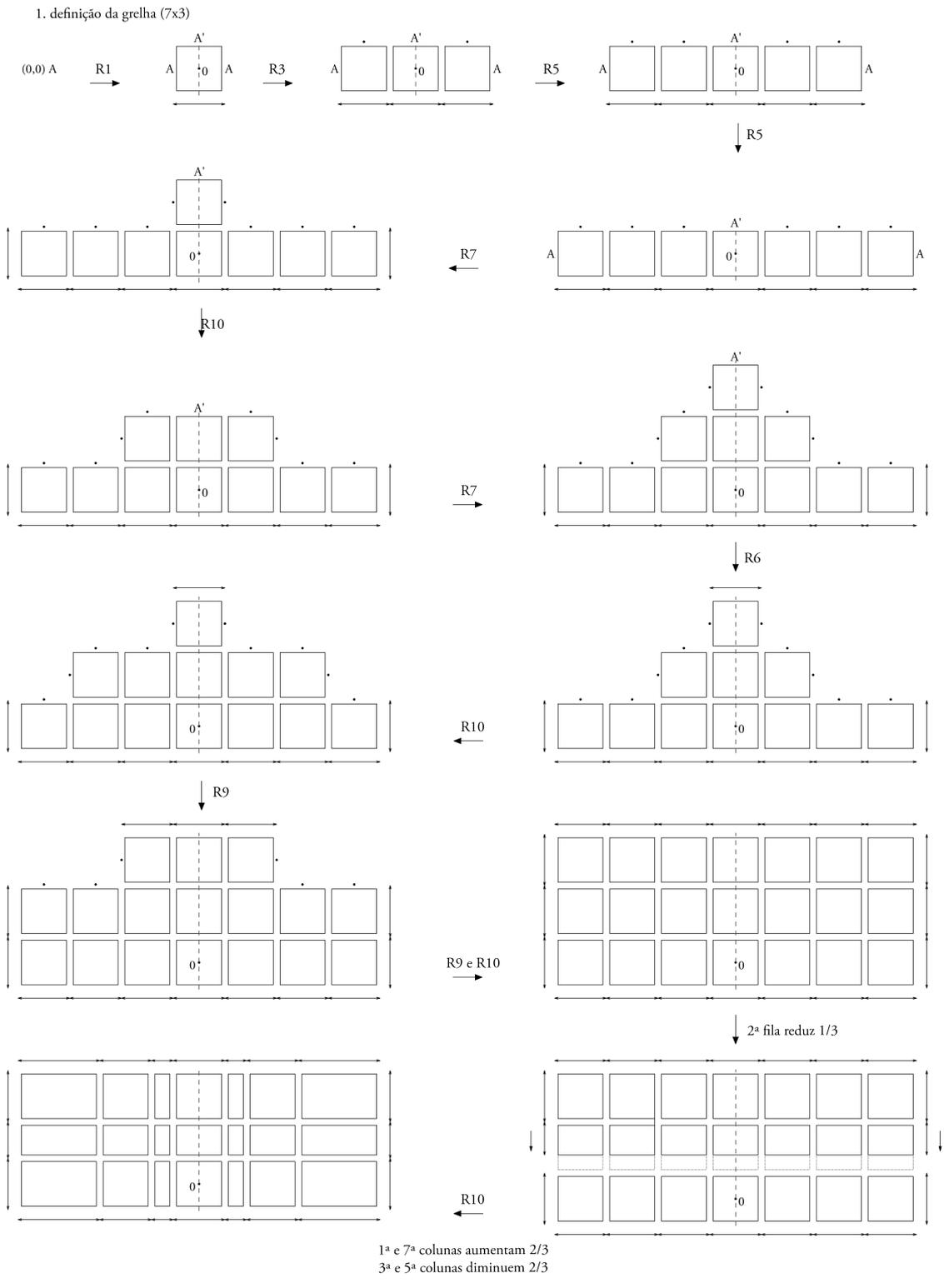


Figura 11. Estágio 1 de derivação da planta da *Villa Poiana*.

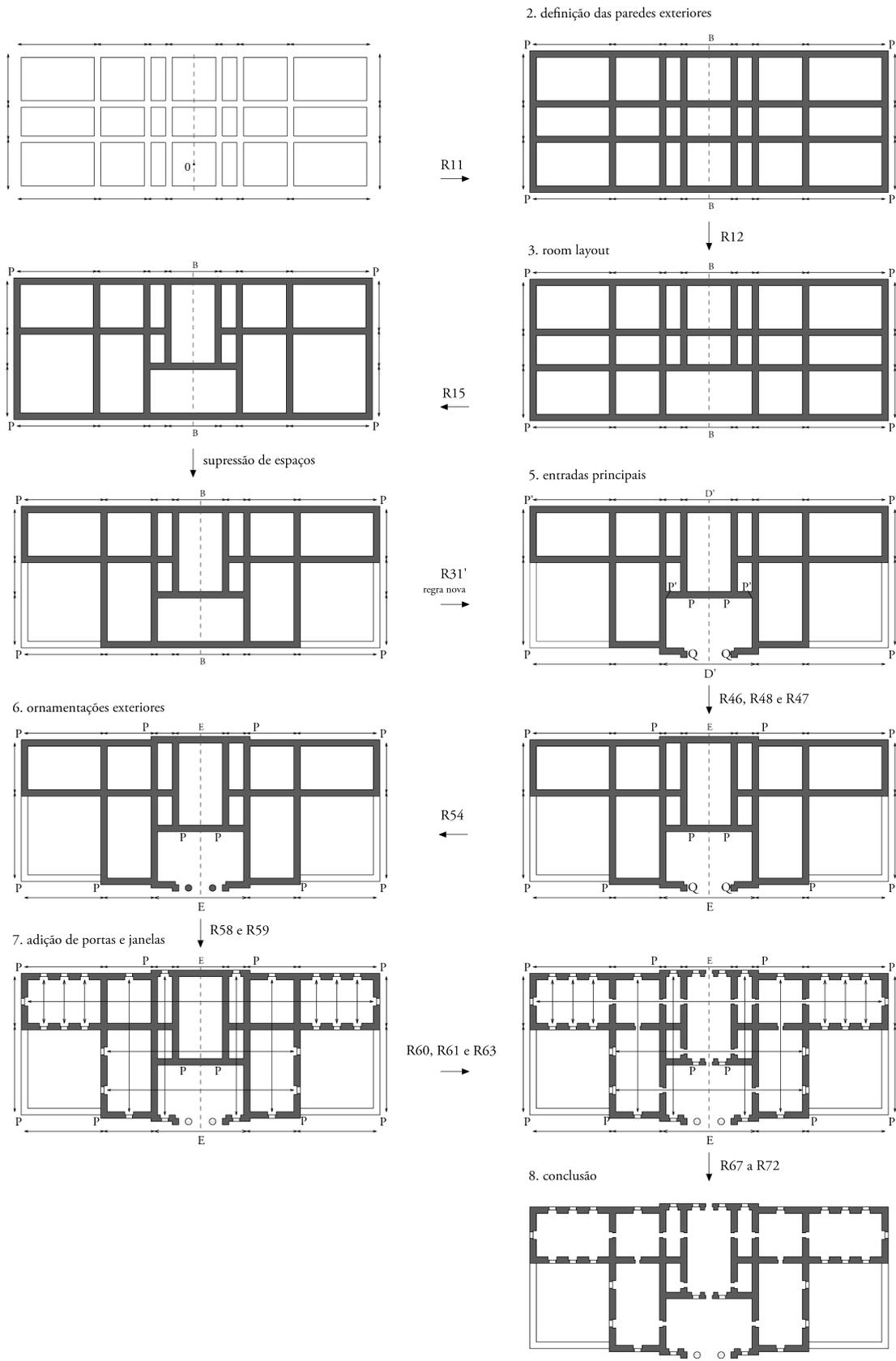


Figura 12. Estágios 2 a 8 de derivação da planta da *Villa Poiana* (continuação da Figura 11.)

### *Linguagens de projetos existentes e a inferência de gramáticas analíticas*

As gramáticas analíticas têm o propósito de elucidarem uma linguagem de projeto pela articulação da definição generativa completa dessa linguagem<sup>56</sup>. Por outro lado, se uma definição generativa de uma linguagem permite a derivação de exemplos da linguagem, uma definição enumerativa da linguagem consiste no conjunto de exemplos existentes dentro dessa linguagem, de conhecimento estanque, eventualmente segmentado e sem capacidade generativa (Li A. I.-k., 2001, p. 9)<sup>57</sup>.

Conforme referido anteriormente, a capacidade de uma definição generativa completa caracterizar uma linguagem existente verifica-se no seu valor descritivo, analítico e sintético. Por oposição, Li sugere que uma definição enumerativa completa caracteriza-se por: (1) compreender parte dos projetos dessa linguagem, apenas os constantes da sua formulação; (2) a avaliação da inclusão de um projeto na linguagem faz-se pela verificação se este faz parte da lista de enumeração; (3) a lista de projetos não explicita a linguagem.

Normalmente, o *corpus* das GFs analíticas corresponde a uma definição enumerativa de uma linguagem e o autor da GF analítica não corresponde ao autor da linguagem de projeto. Colocada esta hipótese, poder-se-ão verificar os seguintes procedimentos na inferência de definições generativas (de GF) de uma linguagem existente:

(1) O gramatista tem acesso à totalidade das descrições que sintetizam a linguagem de projeto. A sua capacidade explicativa é clarividente, permitindo a sua tradução de modo fiel e integral, sem lugar a interpretações desse conhecimento. Neste caso a GF traduz a linguagem completa e constitui uma definição generativa da linguagem completa.

(2) O gramatista decide circunscrever o *corpus* da gramática a uma parte da linguagem de projeto. A gramática das *Villas* de Palladio corresponde a este tipo de procedimento, uma vez que o *corpus* da GF é constituído apenas pelas plantas térreas. Esta opção oblitera conscientemente descrições relativas aos restantes elementos representativos da linguagem completa. Neste caso a GF traduz uma parte da linguagem, formulando uma definição generativa de uma parte da linguagem.

(3) O gramatista socorre-se de fontes de informação externas ao *corpus* inicial porque existem lacunas descritivas ou, as descrições existentes, são de difícil implementação num sistema generativo baseado no uso de regras. A adição de descrições ao *corpus* inicial coincide com um dos procedimentos operados na transformação de gramáticas da forma (Knight T. W., 1994, pp. 75-76).

Porém, ao contrário do que acontece numa transformação da gramática, em que uma gramática sucede outra, nesta circunstância, a transformação formal é simultânea à inferência da gramática inicial. Nesta situação, a GF corresponde à definição generativa de uma linguagem parcial da linguagem original. Neste tipo de situações, é fundamental compreender a origem das descrições que se acrescentam, justificando a sua aplicabilidade ao sistema de descrições inicial, de modo a que a GF garanta o seu valor analítico e sintético.

---

<sup>56</sup> Distinguindo-a da definição completa da linguagem, a qual compreende aspetos presentes apenas nos projetos ou edifícios contidos e definidores da linguagem.

<sup>57</sup> "Defining Languages of Design" é o título que Li dá ao texto introdutório a este tema, onde caracteriza uma linguagem de projeto, distinguindo-as em definições enumerativas e generativas (Li, 2001, p. 9).

Esta sistematização permite formular duas ilações. (1) A formulação do *corpus* é fulcral para o valor analítico da gramática, especialmente se pretende-se uma análise da linguagem completa. Uma gramática analítica é iminentemente uma gramática de parte da linguagem de projeto. E (2) conforme o nível de auto-interpretação que o gramatista introduz na gramática, resultará numa linguagem promovida pela original, mas diferente.

### *Estudos analíticos de projeto e novos projetos*

#### *GF analíticas e estratégias para a geração de projetos novos de uma linguagem (teste analítico)*

Num artigo publicado recentemente, Knight (2014) identifica quatro estratégias computacionais que partem da análise de um *corpus* de projetos e respetivo contexto, para o desenvolvimento de novos projetos para novos contextos e intenções, portanto, situações em que o segundo conjunto é devedor do primeiro.

(1) A primeira estratégia identificada por Knight corresponde a situações em que um *corpus* de edifícios e uma GF analítica geram projetos do *corpus* e novos projetos pertencentes à linguagem inicial. Como exemplo desta abordagem pode-se referir a gramática das *Villas* de Palladio e a gramática das casas da Malagueira.

(2) A segunda estratégia é idêntica à primeira, contudo, a linguagem inicial evolui para uma segunda linguagem pela transformação de regras iniciais. Isto é, a uma GF analítica inicial sucede uma GF cujos resultados generativos têm um grau de parentesco com a linguagem inicial, mas diferem desta, traduzindo-se numa linguagem que representa um processo evolutivo.

Esta estratégia é desenvolvida pela própria Knight no livro *Transformations in Design* (1994). Nesta publicação é descrita uma metodologia que consta de transformações de regras de gramáticas existentes em novas regras, formulando numa nova gramática para a geração de um novo conjunto de soluções<sup>58</sup>.

(3) A terceira estratégia diferencia-se das duas anteriores pelo facto de considerar regras de transformação que são aplicadas diretamente ao *corpus* de projetos gerados dentro da linguagem inicial. Ou melhor, são introduzidas regras de transformação sobre as soluções geradas pela gramática inicial. Ao contrário do que sucede na estratégia anterior, nestes casos não existe necessariamente uma evolução da linguagem, uma vez que não se mapeiam diferenças entre as regras originais e as adicionadas, existindo ainda uma rutura ao nível da estrutura recursiva da GF inicial e da sua sucedânea. A nova gramática é sistematizada de raiz. Como exemplo desta estratégia é referida a GF desenvolvida por Çolakoğlu (2005) para a reabilitação das casas *Hayat*, uma tipologia de habitações unifamiliares tradicional da Bósnia.

Esta investigadora define uma metodologia para reabilitar estas casas, de acordo com requisitos atuais, mas mantendo características importantes da tipologia tradicional. A metodologia consiste na inferência de uma GF pela análise das casas *hayat*, seguida da derivação de modelos dentro

---

<sup>58</sup> Aspectos relativos à formulação e formalização desta metodologia são retratados na secção seguinte.

dessa linguagem. Finalmente, desenvolve regras de transformação, e uma GF, com o objetivo de transformar os projetos tradicionais em novos projetos.

(4) A quarta estratégia é uma redução da estratégia anterior. Não considera a existência e inferência de uma GF analítica inicial. As regras de transformação aplicam-se diretamente ao *corpus* de projetos em análise.

O caso mais paradigmático desta estratégia é desenvolvido por Sara Eloy (2012) para a reabilitação de apartamentos conhecidos por “rabo-de-bacalhau” — uma tipologia característica dos edifícios de habitação construídos entre 1945 e 1965 em Lisboa. A proposta de Eloy consiste na definição de uma estratégia computacional para a geração de projetos de reabilitação destas tipologias, tendo em consideração “a integração/atualização de Tecnologias da Informação, Comunicação e Automação e à necessidade de responder a conflitos emergentes no uso dos espaços originados pela introdução de novas funções associadas ao uso dessas tecnologias.” Eloy recorre ao formalismo das GFs e sintaxe espacial para a implementação de regras de adaptação das habitações existentes. Para cada tipologia em estudo, a gramática de transformação pode gerar múltiplas propostas de acordo com o programa funcional e agregado de coabitação definidos.

As quatro estratégias computacionais identificadas por Knight (2014) retratam diferentes metodologias que integram a análise de linguagens de projeto existentes para a dedução novos contextos e intenções de projeto. A diversidade das estratégias apresentadas depende do objetivo da investigação ou projeto. As duas primeiras estratégias relatadas têm uma natureza mais analítica, não tendo o objetivo de desenvolver uma nova linguagem, mas apenas propor ou estudar a sua evolução.

Por outro lado, na terceira e quarta estratégias, são propostos conjuntos de regras que se aplicam sobre o resultado generativo da linguagem inicial, isto é, são propostas novas linguagens condicionadas pela anterior. Outras estratégias poderão ser acrescentadas a estas, bem como serem consideradas combinações destas.

### *A transformação de gramáticas analíticas*

Conforme proposto por Knight (1994), a transformação de uma linguagem noutra linguagem pode ser explicitada pelas mudanças aplicadas à gramática subjacente à primeira linguagem, de modo a inferir-se uma segunda gramática representativa da evolução da linguagem. Uma vez que a nossa investigação recorre a esta estratégia (subcapítulo 4.4.) interessa-nos expor alguns dos mecanismos de funcionamento de transformações gramaticais.

O processo computacional desenvolvido por Knight para caracterizar a evolução estilística recorre a diversos tipos de mecanismos básicos que aplicados individualmente, ou combinados entre si, permitem a transformação de uma GF (Knight T. W., 1994, pp. 75-107). Conforme ilustrado na Figura 13, estes mecanismos dividem-se em três grupos: (1) a adição de regras; (2) a subtração de regras; (3) a mudança de regras.

(1 e 2) A adição de uma nova regra e a subtração de uma regra são processos simples para a transformação da gramática. De carácter autoexplicativo, estes mecanismos envolvem alterações à estrutura recursiva da GF inicial, pela adição ou subtração de uma transformação formal no proces-

so de derivação de soluções. Este tipo de transformações de GFs implicam que a nova GF detenha uma maior ou menor capacidade generativa da GF, respetivamente, se comparada com a GF inicial<sup>59</sup>.

(3) A mudança de regras ocorre pela alteração (a) de componentes não espaciais - rótulos de estado, e (b) componentes espaciais - marcadores, ou ainda, pela (c) alteração de relações espaciais propostas na regra.

(a) Conforme explicitado em secção anterior, os rótulos de estado têm a função de controlo da aplicação das regras e dos diversos estágios e estados que ocorrem no processo de derivação de uma solução definida pela linguagem da GF. Os rótulos podem associar-se às formas iniciais, às regras ou ao estado final da gramática. A mudança de um rótulo associado à forma inicial pode implicar uma mudança da primeira regra a ser aplicada na GF. A mudança de um rótulo associada a uma ou várias regras pode alterar a sequência de aplicação das regras. A mudança de um rótulo associado ao estado final da gramática afeta a escolha da regra que se aplica na última derivação.

(b) Os marcadores espaciais, também já mencionados em secção anterior, associam-se apenas à forma inicial e às regras, com a função de localizar as formas e subformas a serem transformadas no processo de derivação. Normalmente, a mudança de marcadores introduz alterações na posição e ou orientação das transformações operadas.

(c) As relações espaciais codificam o modo como o vocabulário de formas da linguagem é combinado na derivação de formas. Knight identifica três mecanismos para operar uma mudança de relações espaciais: (i) a adição de novas formas não similares (geometricamente) às existentes, substituindo-as; (ii) pela reconfiguração da forma existente considerando o seu redimensionamento e reposicionamento de formas, o que equivale a dizer que a forma existente é substituída por uma forma similar cuja relação é caracterizada por transformações euclidianas; (iii) pela transposição da forma do lado esquerdo da regra pela forma do lado direito da regra e vice-versa, mudança esta que pode ocorrer entre formas não similares ou similares (tal como em i e ii, respetivamente).

Informalmente, os arquitetos recorrem a estes mecanismos como metodologias de conceção de projeto, propondo alterações de relações espaciais que determinam novas lógicas de projeto, ou seja, novos projetos e linguagens. Formalmente, uma mudança de regra é semelhante a uma regra da forma  $(x \rightarrow y)$ , beneficiando das mesmas características, tal como exposto na secção inicial deste subcapítulo, algo que distingue as regras de mudança, e que é inerente à sua natureza, é que podem aplicar-se sobre a forma do lado esquerdo da regra<sup>60</sup> ou, sobre o lado direito da regra<sup>61</sup>.

---

<sup>59</sup> A adição de regras implica que a nova gramática tenha mais possibilidades de combinação de regras e gere mais soluções. A subtração de regras implica que a nova gramática detenha menos possibilidades de combinação de regras e gere menos soluções.

<sup>60</sup> Por exemplo, numa regra de adição  $A \rightarrow A + B$ , se a regra de mudança aplica-se a A, em que A' substitui A, a regra da nova GF será:  $A' \rightarrow A' + B$ . O mesmo ocorre com regras de subtração:  $A' \rightarrow A' - B$ .

<sup>61</sup> Neste caso, e perante a regra de adição  $A \rightarrow A + B$ , se a regra de mudança aplica-se a B, em que B' substitui B, a regra da nova GF será:  $A \rightarrow A + B'$ . O mesmo ocorre com regras de subtração:  $A \rightarrow A - B'$ .

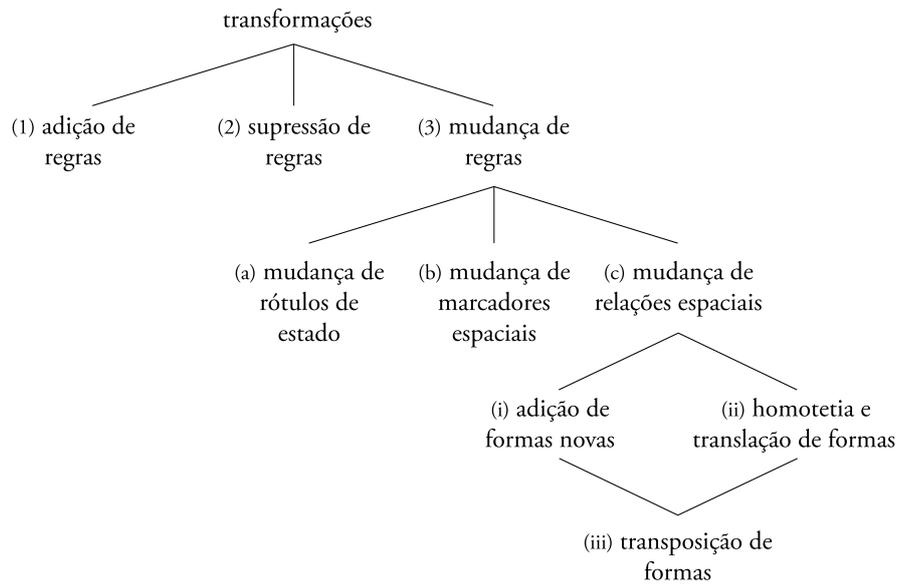


Figura 13. Diagrama representativo das diferentes mecanismos para a transformação de uma gramática de forma. Fonte: (Knight T. W., 1994, p. 105)

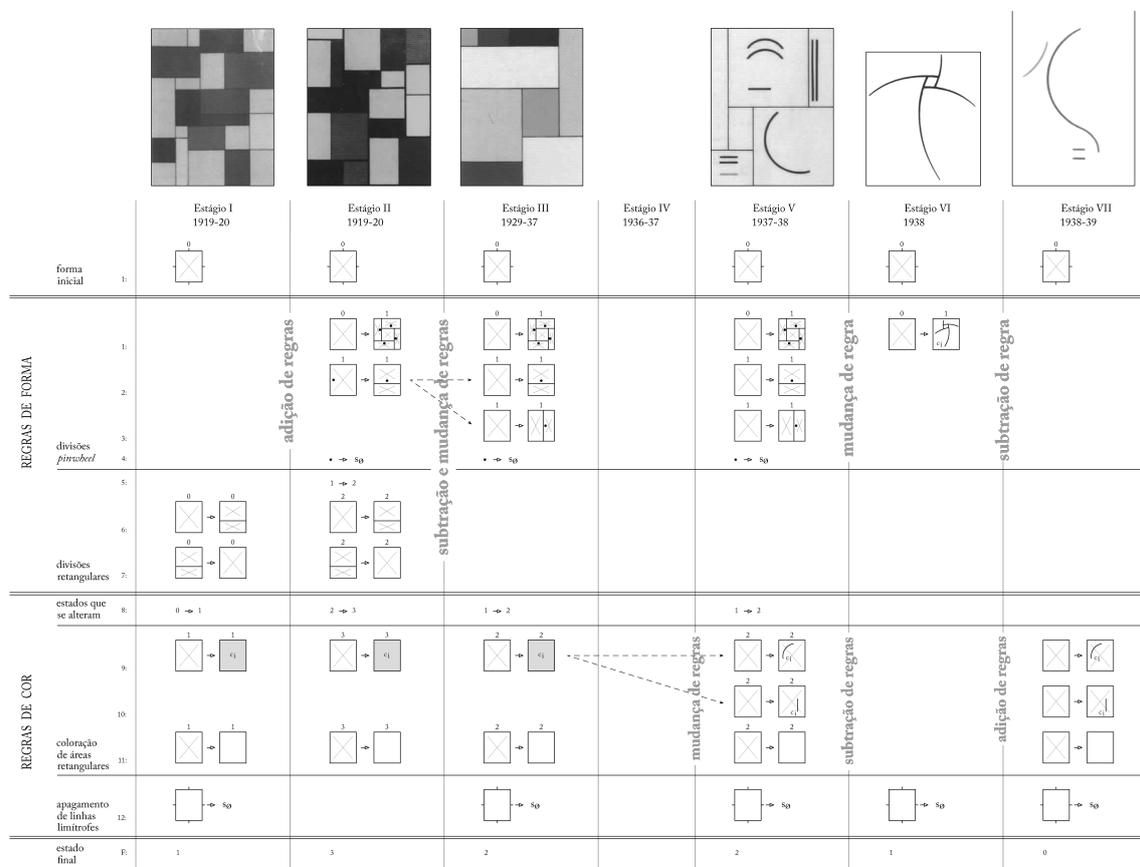


Figura 14. Diagrama ilustrativo da evolução da linguagem pictórica de Georges Vantongerloo pela aplicação de regras de transformação. Fonte: (Knight T. W., 2014, p. 21)

No livro *Transformations of Design*, Knight (1994) apresenta diversos exemplos de transformações gramaticais de GF analíticas que retratam a evolução de linguagens de projeto. Uma das investigações centra-se na compreensão da evolução da linguagem pictórica do artista Georges Vantongerloo

(1886 -1965) pertencente ao movimento *De Stijl*. Esta investigação retrata a evolução das diferentes fases estilísticas das suas pinturas ao longo de 20 anos através da definição de uma GF analítica de cada uma das fases, sucedida da identificação da transformação das regras de composição entre uma fase e a seguinte. A Figura 14 é um diagrama publicado por Knight (2014, p. 21) onde ilustra esquematicamente a evolução da linguagem das pinturas de Vantongerloo, as respetivas gramáticas ao longo de diferentes estágios e as regras de transformação aplicadas entre cada um dos estágios e o seu sucedâneo. Neste diagrama é possível verificar a evolução das sucessivas gramáticas pelo recurso a adição de regras (entre os estágios: I e II; II e III; VI e VII), a subtração de regras (entre os estágios: II e III; V e VI; VI e VII) e a mudança de regras (entre os estágios: II e III; III e V; V e VI).

Abordados os mecanismos para transformação de uma GF representativa de uma linguagem conhecida numa nova GF, importa observar o impacto que estas estratégias têm na estrutura recursiva da nova GF. O grau de isomorfismo entre a estrutura recursiva da GF inicial e a estrutura recursiva da GF nova pode sugerir a existência de uma evolução mais ou menos abrupta da linguagem. Se a estrutura recursiva da GF inicial, ou parte dela, é preservada, o conhecimento relativo ao funcionamento das regras é transferido para a GF nova. Nesta situação, de isomorfismo total, ou parcial, mesmo que as soluções geradas pela GF nova diverjam das soluções geradas pela GF inicial, a estrutura e resultados generativos da GF nova são compreensíveis. Em oposição, se a globalidade da estrutura recursiva é alterada, a similaridade das duas gramáticas é reduzida ou inexistente, sugerindo uma ruptura estilística entre as duas linguagens.

#### 2.2.4. Implementação de gramáticas de forma

##### *Interpretores, objetivos e restrições*

A natureza computacional de GFs viabiliza a sua implementação em programas informáticos, isto é num interpretador. A implementação de GFs em computadores inicia-se no princípio da década de 1980, momento em que surgem investigações centradas no desenvolvimento de interpretadores que pudessem implementar qualquer GF bidimensional<sup>62</sup> e tridimensional<sup>63</sup>. Outros autores implementaram interpretadores específicos de GFs de linguagens de projeto existentes<sup>64</sup>. E, noutras situações, para a implementação de GFs originais, com um número restrito de regras, de modo a explorar a capacidade generativa dessas GFs<sup>65</sup>.

Em geral, a literatura de referência (Gips, 1999; Chau, Chen, McKay, & Pennington, 2004; Yue, 2009; Correia, 2012; McKay, Chase, Shea, & Chau, 2012) destaca os seguintes objetivos para as implementações de GFs: (1) automatizar a derivação de soluções dentro da linguagem de projeto; (2) permitir a seleção de regras da forma a aplicar; (3) facilitar a interação com a GF, desig-

---

<sup>62</sup> A este propósito ver: Krishnamurti, 1980, 1981, 1982; Krishnamurti e Giraud, 1986; Chase, 1989; Taipa, 1996.

<sup>63</sup> A este propósito ver: Earl, 1986; Krishnamurti e Earl, 1992; Grasl e Economou, 2013. Estes últimos autores têm um interpretador implementado no seguinte portal: <http://grape.swap-zt.com/App>.

<sup>64</sup> A este propósito ver: Stiny, 1982; Flemming, 1987; Duarte, 2001; Li, 2001.

<sup>65</sup> A este propósito ver: Krishnamurti & Giraud, 1986; Chase S. C., 1989; Tapia, 1999; Chau, Chen, McKay, & Pennington, 2004.

nadamente de utilizadores que desconheçam a gramática. Para cumprir estes objetivos as implementações deverão ter em consideração os seguintes atributos: (1) representar formalmente as regras; (2) interagir com o utilizador da GF; (3) integrar a GF no processo de projeto; (4) ter capacidade de emergência de formas; (5) automatizar o reconhecimento da forma e subformas<sup>66</sup>.

Se alguns dos atributos postulados para os interpretadores de GFs foram alcançados, outros continuam sem resolução. Uma das principais dificuldades reside na automatização do reconhecimento de formas<sup>67</sup> (emergentes e subformas). Conforme referido por Yue (2009, p. 22) esta dificuldade varia com a complexidade do vocabulário de formas que operam, isto é, (1) se correspondem a geometrias bidimensionais ou tridimensionais, (2) se são compostas por elementos retos e ou curvos e, (3) se dependem, ou não, de relações paramétricas. Segundo estes parâmetros, GFs compostas por formas bidimensionais, retilíneas e não paramétricas, detêm um menor grau de dificuldade de implementação, enquanto que GFs compostas por formas tridimensionais curvas e de funcionamento paramétrico são as maior dificuldade.

Os avanços na implementação de GFs estão em débito com os estudos de Krishnamurti, nomeadamente, pelos avanços no estudo de definições para o reconhecimento de formas pelo recurso aos algoritmos de representação de linhas máximas<sup>68</sup>, álgebras de linhas, planos e formas tridimensionais (Krishnamurti, 1982, 1992a, 1992b; Krishnamurti & Earl, 1992; Krishnamurti & Giraud, 1986). Estes estudos foram essências para que Stouffs (1994), na sua dissertação de doutoramento, formulasse algorítmicamente as álgebras da forma (dimensões 0 a 3) envolvidas no reconhecimento de formas tridimensionais. Ainda que matematicamente viável, o reconhecimento de subformas depende ainda da interpretação semântica.

De acordo com Beirão (2012, p. 185), normalmente, o reconhecimento de uma subforma num projeto não é a principal razão para a aplicação de uma transformação a essa subforma, mas sim, o significado que essa forma tem no contexto do projeto. Este autor justifica que as dificuldades de desenvolvimento deste tipo de implementações reside no facto de programas de CAD não se basearem neste tipo de paradigmas.

### *Três sistemas e dois paradigmas*

Gips (1999, p. 3) faz um levantamento das implementações de GFs mais relevantes para sua a evolução. Em publicações subsequentes, outros autores têm proposto atualizações desse levantamento (Chau, Chen, McKay, & Pennington, 2004, pp. 358-359; Correia, 2012, pp. 13-14). A última atualização deste levantamento refere 32 implementações, identificando os autores, a data, a plataforma informática (ferramenta) da implementação, se detêm capacidade de reconhecimento de

---

<sup>66</sup> Um levantamento mais atual dos requerimentos para a implementação de uma gramática espacial é publicado por (McKay, Chase, Shea, & Chau, 2012, p. 145).

<sup>67</sup> A este propósito ver Beirão (2012, p. 72).

<sup>68</sup> O conceito de linhas máximas descreve a possibilidade de duas linhas que se sobrepõem parcialmente serem interpretadas e percebidas como uma única linha, sendo o seu oposto também possível. Stiny e Gips (1972) desenvolvem esta noção para que as formas, no âmbito das GFs, se comportem de um modo semelhante ao de uma interação puramente visual e analógica (ver pág. 31).

formas e se operam formas bidimensionais, tridimensionais ou ambas. Estas publicações auxiliaram a que outros autores sistematizassem o tipo de implementações desenvolvidas.

Li et alli. (2009) distingue as implementações de GFs em três sistemas:

(1) Os sistemas de gramática única<sup>69</sup>, correspondentes à implementação de uma única GF, permitem que os utilizadores da gramática explorem a capacidade generativa de uma linguagem de projeto específica. Este sistema inclui implementações como a GF das casas *Queen Anne* (Flemming, 1987), a GF da Malagueira (Duarte, 2001) e a GF das casas *Yingzao fashi* (Li A. I.-k., 2001).

(2) Os sistemas de adição de formas, em que o utilizador define um conjunto restrito de regras da forma de adição ( $A \rightarrow A + B$ ). Normalmente, as formas correspondem a formas simples (A e B), como retângulos ou paralelepípedos e, a GF, prevê a aplicação recursiva de uma única regra. Como exemplo podemos referir o interpretador *3DShaper* (Figura 15) que implementa a GF de blocos de *Fröbel* (Wang, 1998; Wang & Duarte, 2002) e o interpretador *Shaper 2D* (McGill, 2002), desenvolvido com o intuito de ser utilizado no ensino de GF e computação visual no MIT (2001).

(3) Por último, os sistemas genéricos, prevêem que o utilizador possa implementar uma gramática qualquer dentro dos limites técnicos do interpretador. Neste caso, os utilizadores podem explorar diversas gramáticas e a capacidade generativa da sua linguagem (Krishnamurti & Giraud, 1986; Chase S. C., 1989; Tapia, 1999; Chau, Chen, McKay, & Pennington, 2004)<sup>70</sup>.

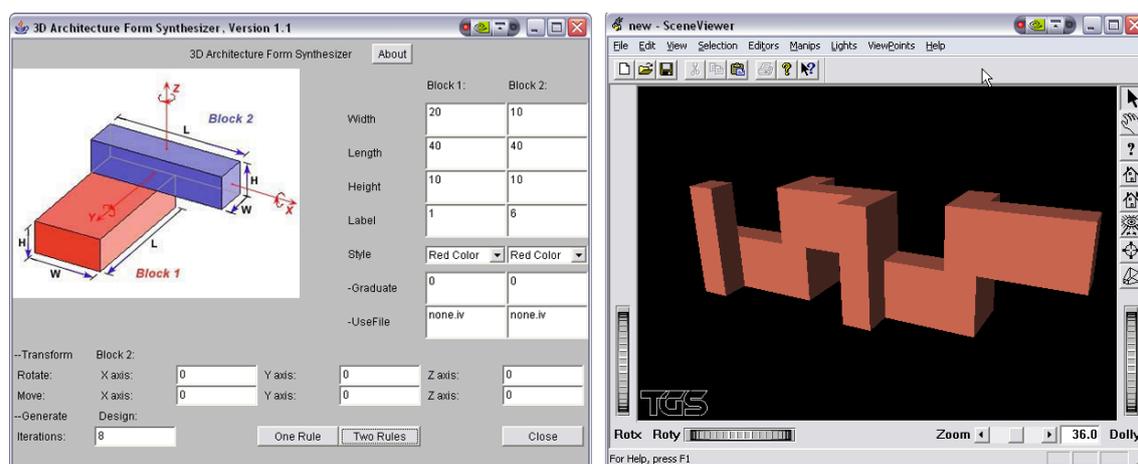


Figura 15. À esquerda, imagem do interface do interpretador *Shaper*<sup>71</sup>, onde o utilizador pode configurar formas e regras dentro do vocabulário dos blocos de *Fröbel*. À direita, imagem de solução gerada pela GF num visualizador implementado no programa *Inventor* (Fonte: Chase, *Shape grammar implementations The last 35 36 years*, 2010).

<sup>69</sup> As gramáticas constituídas por um vocabulário de formas e regras finitas são denominadas de gramáticas de conjunto e diferenciam-se de uma gramática da forma tradicional por não deterem emergência de formas (Stiny, 1980b; Wang & Duarte, 2002).

<sup>70</sup> Dada a complexidade e inadequação técnica dos seus interfaces às capacidades das gramáticas, a maioria destes interpretadores são apenas modelos teóricos que não podem ser utilizados por um utilizador genérico.

<sup>71</sup> O desenvolvimento do programa *Shaper* é descrito por Wang na sua dissertação de mestrado (3D Architecture Form Synthesizer, 1998).

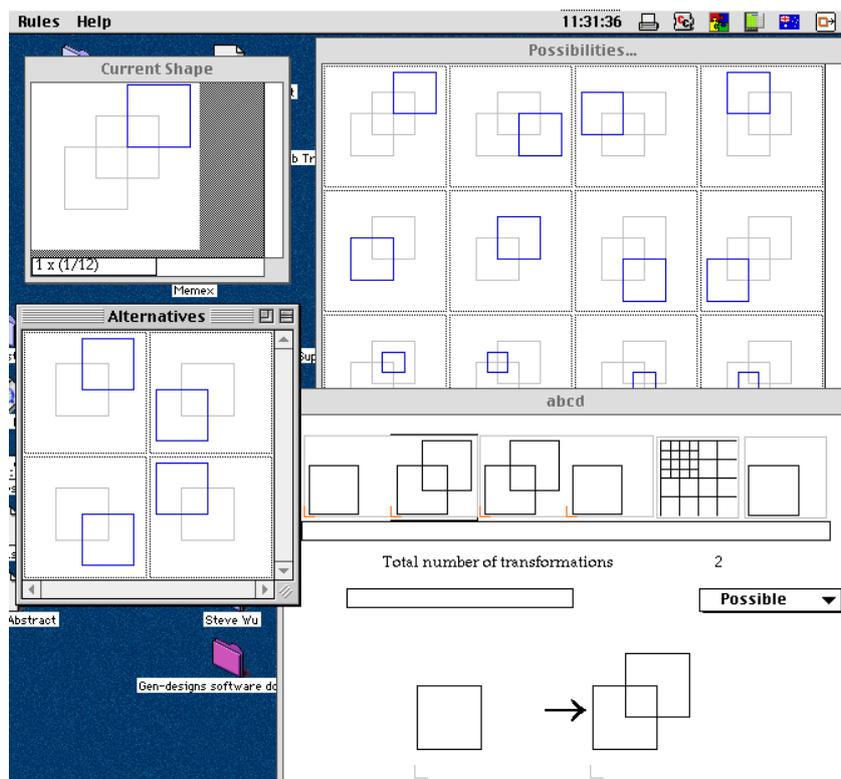


Figura 16. Interface gráfico do *GEdit* (Tapia, A visual implementation of a shape grammar system, 1999).

Complementarmente aos três sistemas referidos por Li et alli., relativos a diferenças no vocabulário de GFs implementado (finito, genérico ou infinito), Duarte (2007, p. 504) e Beirão (2012, p. 185) segmentam as implementações pelo processo adotado na sua implementação. Ambos os autores consideram dois paradigmas. Contudo, Duarte dá ênfase à representação de formas na implementação de GFs, diferenciando-as entre (1) visuais, se fieis aos princípios da GF, e (2) simbólicas, se as regras aplicam-se sobre representações simbólicas da forma. Por outro, Beirão dá destaque às restrições que ainda hoje se verificam ao nível de inteligência artificial (IA) para uma implementação plena das GFs. Isto é, diferencia (1) implementações concebidas de raiz, que tentam aproximar-se o mais possível do formalismo (computacional) das GFs, (2) das implementações em que a estrutura recursiva e o conhecimento descrito nas GFs adaptam-se de modo a serem implementados em programas de CAD existentes, aproveitando as ferramentas de interação e visualização destes programas.

Duarte e Beirão recorrem a léxicos distintos para exporem ideias similares. A adaptação a que se refere Beirão trata-se de uma estratégia para colmatar dificuldades de IA na implementação de GFs, propondo a substituição do formalismo convencional de GFs por representações simbólicas embebidas em programas de CAD, constituindo estratégias para a definição de sistemas computacionais que sintetizam o conhecimento das GFs.

Cronologicamente, o primeiro destes paradigma surge quase em simultâneo com o advento das GFs. Gips (1975) descreve as primeiras implementações de GFs, designadamente a GF Shepard-Metzler, elaborada para a análise de figuras retilíneas e a GF *Urform* (Stiny & Gips, 1972) (Figura

17)<sup>72</sup>. As abordagens adotadas desde então, os progressos e obstáculos que têm caracterizado este tipo de implementações têm sido retratadas por diversos autores (Gips, 1999; Chau, Chen, McKay, & Pennington, 2004; Correia, 2012; McKay, Chase, Shea, & Chau, 2012).

140

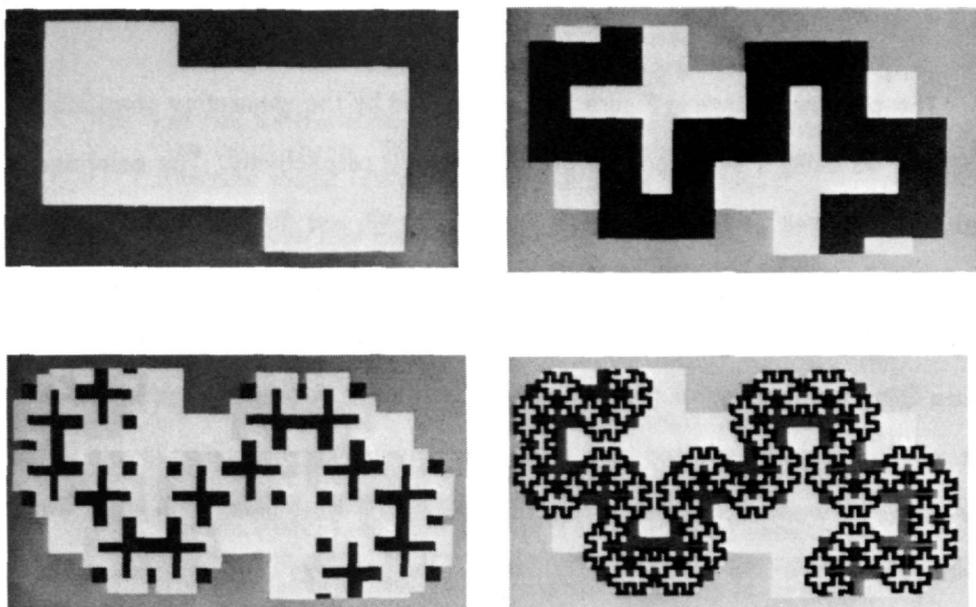


Figure 39a. Urform. Colors are black, blue, red, light blue, and white (darkest to lightest) in the final painting.

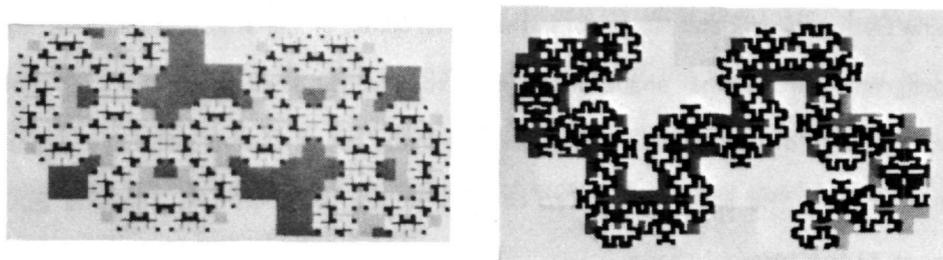


Figure 39b. Variations.

Figure 39. Urform and variations. Computer display.

Figura 17. Página do livro *Shape Grammars and their Uses: Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics* (Gips, 1975) onde estão ilustradas soluções da gramática *Urform* obtidas pela implementação da mesma num interpretador.

<sup>72</sup> Ambas as gramáticas foram implementadas na linguagem de programação SAIL - *Stanford Artificial Intelligence Language*.

Formalmente, implementações de GFs consistem no desenvolvimento de programas independentes ou *plug-ins*<sup>73</sup> de programas CAD (cujas capacidades generativas e interativas são limitadas). Os obstáculos consistem sobretudo na dificuldade de implementar: (1) derivações tridimensionais, especialmente de formas curvas; (2) gramáticas paramétricas; (3) a possibilidade de recuo a estágios de derivação anteriores sem que se reinicie o processo de derivação. Para além destas dificuldades, a maioria dos interpretadores não integram o reconhecimento de subformas, nem permitem associar-lhes um significado<sup>74</sup> à estrutura recursiva da gramática, às regras de forma que a compõem e consequentemente às soluções geradas; (4) não incluem dados emergentes do próprio processo de prospecção de soluções, (5) nem permitem a adição de novos significados no contexto do projeto, e assim, reduzindo-se assim a amplitude criativa do processo de definição do projeto.

A este propósito, Beirão (2012, p. 185) refere que a emergência e a semântica de formas emergentes, consideradas as melhores características das GFs, representam a maior dificuldade na sua implementação devido à necessidade de se incluir no processo de derivação a possibilidade de avaliação das qualidades emergentes.

Como exemplos deste paradigma podemos referir a generalidade das primeiras implementações de gramáticas, ocorridas nas décadas de 1970 e 1980, todas elas desenvolvidas de raiz em linguagens de programação como SAIL, PROLOG e C++. Ou ainda o *GEdit* (Tapia, 1996, 1999) também implementado de raiz, na linguagem de programação LISP. A Figura 16 ilustra o interface gráfico deste interpretador, considerado inovador por promover uma interação mais intuitiva entre o utilizador e o interpretador na procura de soluções de projeto (Chau, Chen, McKay, & Pennington, 2004)<sup>75</sup>.

Tal como o primeiro paradigma, o segundo depara-se com a dificuldade de implementação do reconhecimento automático de subformas em programas de CAD, à qual acresce a inexistência de programas de CAD que considerem linhas máximas de representação (Beirão, 2012, p. 185).

Com efeito, apesar das restrições inerentes aos programas de CAD, concebidos para realizarem um número finito de tarefas, a adaptação de GFs<sup>76</sup> a estas plataformas aparenta ser mais acessível do que a resolução dos problemas supracitados. Hoje, a validade deste argumento assenta no facto da generalidade dos programas de CAD deterem as seguintes características: (1) ao nível for-

---

<sup>73</sup> Um *plug-in* consiste numa aplicação informática, ou programa, que funciona desde um programa base, introduzindo novas funcionalidades a este programa. Muitas das vezes estes programas são desenvolvidos por entidades terceiras aos proprietários do programa base.

<sup>74</sup> Excepcionalmente, o *DESIGNA* implementa a gramática da Malagueira, uma gramática discursiva, introduz significado às subformas que compõem o projeto. Ver: <http://home.fa.ulisboa.pt/~jduarte/malag/>.

<sup>75</sup> O *GEdit* é considerado em 2004, por Chau et AL., como sendo o melhor interpretador disponível do ponto de vista da interacção. Esta nomeação é justificada pelo facto do *GEdit*: (1) implementar a representação máxima de elementos básicos; (2) detetar subformas; (3) admitir a emergência de formas; (4) permitir a visualização de todas as soluções possíveis da aplicação de uma regra a uma determinada forma, para que o utilizador possa seleccionar uma; (5) interface gráfico ter um desenho cuidado do ponto de vista do utilizador (Figura 16). Por outro lado, estes autores referem aspetos menos positivos do *GEdit*: as geometrias são restritas a retas bidimensionais; o conjunto de transformações formais é muito reduzido.

<sup>76</sup> A impossibilidade de implementação do formalismo convencional para as GFs, dada as restrições de IA, não inviabiliza a implementação da gramática descritiva que a antecede. Posto isto, a adaptação de uma GF para a implementação da sua linguagem de projeto poderá coincidir com a implementação da sua gramática descritiva.

mal, são constituídos por bibliotecas de funções muito abrangentes, permitindo gerar e transformar (por operações euclidianas e booleanas) uma grande variedade de geometrias bidimensionais e tridimensionais<sup>77</sup>; (2) dispõem de interfaces gráficas para a visualização de formas bidimensionais e tridimensionais de funcionamento intuitivo e interativo; (3) integram bibliotecas de funções específicas a diferentes áreas de projeto<sup>78</sup>, ou permitem a integração de *plug-ins* externos que contêm essas funcionalidades; (4) por último, e talvez o facto mais relevante, dispõem de interface(s) de programação de aplicações (API) integradas nas suas versões base, ou disponíveis através de *plug-ins*, facilitando a expansão das possibilidades computacionais que os programas base oferecem, ou seja, permitindo a introdução de rotinas inferidas nas GFs.

No âmbito deste último aspeto, interessa referir a existência de API's que se restringem à implementação de *scripts*<sup>79</sup> através de linguagens de programação textual (LPTs), e outras, em que os programas são descritos através da manipulação e interligação de elementos icónicos, designados de linguagens de programação visual (LPVs) (Castro e Costa, 2012; Lopes, 2012)<sup>80</sup>. Ao nível do seu funcionamento existem duas características que as diferenciam, a programação visual não obriga ao conhecimento de linguagens de programação textual e permite a visualização imediata da derivação de resultados, beneficiando o processo de depuração do programa.

Mais recentemente, Li et alli. (2009) desenvolveram um sistema protótipo, chamado *Grammar Environment* (desenvolvido em *Perl* e *Perl/Tk*), que se situa entre os dois paradigmas citados. O *Grammar Environment* tem a particularidade de conter um editor de formas interno e externo. O editor externo é uma miniaplicação do *Autocad*, que permite aos usuários a criação de novas formas e regras, editá-las e, importá-las e exportá-las para e desde o *Grammar Environment*. Apesar da desvantagem da redundância de interfaces de edição das formas, o externo permite a utilização de formas mais complexas, contornando as limitações formais do editor interno.

---

<sup>77</sup> A generalidade de programas de CAD suportam a modelação de geometrias tridimensionais simples, bem como geometrias mais complexas, nomeadamente, sólidos, superfícies e malhas baseados em sólidos primitivos, bem como, superfícies NURBS.

<sup>78</sup> Por exemplo, informação SIG e funcionalidades de cálculo de elementos finitos. Ou ainda, a integração de algoritmos evolutivos para geração de soluções tendo em vista a otimização da performance dos projetos.

<sup>79</sup> *Script* e *scripting*, tornaram-se estrangeirismos comumente usados no âmbito da computação, por se referirem a processos de codificação pela escrita, linha a linha, numa aplicação intérprete, que pertence a um programa de acolhimento de maiores dimensões (Mc Cullough, 2006). Deste modo, a utilização de um *script* permite aumentar as funções de um programa, ou seja, através de um *script* é possível executar aplicações não previstas no conjunto de rotinas e padrões de comportamento, estabelecidos num determinado programa base. Para a execução de um *script* é necessário que o programa base disponibilize um Interface de Programação de Aplicativos – API (*Application Programming Interface*), onde serão lidos os códigos contidos no *script*. De um modo geral, a API é composta por uma série de funções acessíveis somente por programação e, que permitem utilizar características do programa inacessíveis ao utilizador comum.

O uso de *scripts* em programas de CAD tem permitido ampliar as possibilidades formais/geométricas que o programa base oferece. As linguagens de programação usadas na escrita de *scripts* variam conforme os programas base, o *Maya* usa o *Maya Embedded Language – MEL*, o *3ds MAX* usa o *3dMaxScript*, *FormZ* usa o *form-Z Script Language – FSL* e o *AutoCAD* usa o *AutoLISP*.

De acordo com Terzidis (2006), a utilização de *scripts* associa atos de inteligência ao programa base, em que pela criação de estruturas computacionais são incorporadas acções de consistência, coerência e rastreabilidade ao programa. O *script* permite ainda pré-estabelecer uma série de procedimentos descritos na sua estrutura computacional (operações de transformação, otimização, simulação, entre outras) que funcionam de modo automático sobre as entidades de desenho, dando oportunidade ao arquiteto de incorporar de modo operativo no projeto uma série de relações, que de outro modo não conseguiria coordenar.

<sup>80</sup> Para mais informações relativas às linguagens de programação visuais ver (Lopes, 2012, p. 12).

*Linguagens de programação visual: “Before I design I will first build my tools”*<sup>81</sup>

Uma linguagem de programação é um formalismo para expressar ideias e não apenas um meio para que o computador execute operações. O que significa que as linguagens de programação devem ter a capacidade de combinar ideias simples para formar ideias compostas e, a capacidade de abstrair ideias complexas de modo a que se tornem mais genéricas (Locke, 1960) in (Leitão & Santos, 2011)

A sintaxe de LPTs desenvolve-se em sequências lineares de texto para a implementação de descrições de uma determinada gramática espacial. Por outro lado, a sintaxe de LPVs é composta por elementos icónicos de representação bidimensional (ou mais dimensões) que o programador manipula de modo interativo.

Ambas seguem três conceitos inerentes às linguagens de programação: (1) recorrem a elementos primitivos (introduzem conhecimento); (2) implementam mecanismos de combinação (estabelecem critérios); (3) integram mecanismos de abstração<sup>82</sup> (sistemizam o conhecimento para a elegância do programa) (Leitão & Santos, 2011).

Se comparadas LPTs com LPVs, a natureza gráfica das segundas associada à facilidade de agrupar um conjunto de rotinas num elemento potencia a sua capacidade de abstração relativamente às primeiras.

Genericamente, a representação icónica associada à abstração de conceitos são características de LPVs que se estendem ao interface das suas API's. Este facto, facilita a identificação visual de todos os objetos e funções disponíveis para operar a linguagem. Inversamente, as LPTs obrigam a que o programador conheça de antemão a sintaxe e todas as funcionalidades da linguagem, o que obriga a estudo prévio da mesma.

Com efeito, a facilidade de aprendizagem de LPVs resulta num efeito motivacional que as LPTs não conseguem inculcar a programadores sem formação em ciências computacionais, como se verifica com a maioria dos arquitetos.

Acresce que a generalidade das LPVs permite a visualização instantânea das soluções de projeto, o que facilita o ajuste e experimentação de variações dos seus parâmetros, bem como a depuração do programa. Por oposição, na maioria LPTs, as soluções resultam de um ciclo de escrita, compilação e execução do código, resultando num processo mais lento e menos interativo no desenvolvimento do programa.

Inversamente, na implementação de descrições de projeto mais complexas as LPTs são mais produtivas do que as LPVs. Por exemplo, em LPVs, como o *Grasshopper*, verificam-se limitações na implementação de funções cíclicas (como a recursão), o que se traduz em programas menos elegantes dada a redundância de operações que obrigam a desenvolver.

---

<sup>81</sup> Referência a (Aish, 2013, p. 47).

<sup>82</sup> “The adjective abstract, in this context, refers to the degree to which language features are separated from the details of any particular computer architecture. The early development of languages like Fortran, Algol, and Lisp was driven by a pair of complementary goals: machine independence and ease of programming. By abstracting the language away from the hardware, designers not only made it possible to write programs that would run well on a wide variety of machines, but also made the programs easier for human beings to understand.” (Scott, 2006, p. 103)

Em suma, ambas as linguagens têm benefícios e contrariedades, pelo que importa seleccionar a linguagem no contexto do objetivo do projeto e dos conhecimentos computacionais do utilizador. Independentemente da linguagem computacional utilizada, importa que os arquitetos possam utilizar os conceitos da computação no âmbito da sua atividade profissional.

O primeiro exemplo de linguagem de programação visual é atribuído ao *SketchPad*, desenvolvido por Ivan Sutherland, no MIT, em 1963. Contudo, apenas mais recentemente, APIs que combinam a utilização de linguagens de programação textual (LPTs) e linguagens de programação visual (LPVs) têm sido adotadas em processos de projeto em arquitetura. Este advento dá-se com o lançamento da primeira versão comercial do *GenerativeComponents*<sup>83</sup> (*GC*) em 2007, uma API do *Microstation*, que aceita simultaneamente LPTs e LPVs para o desenvolvimento de modelos geométricos de funcionamento computacional paramétrico. A propósito do *GC*, Robert Aish (2013, p. 45), o responsável pelo seu desenvolvimento, refere que a sua motivação foi combinar ideais do *Sketchpad*, métodos formais de projeto e conceitos de programação orientada por objetos num único sistema, facilitando o acesso direto do projetista a estes conceitos.

Igualmente relevante é o aparecimento do *Grasshopper (GH)*<sup>84</sup>, uma API que funciona sobre o *Rhinoceros*<sup>85</sup>. Surgido em 2007, o *GH* tem a particularidade de ser grátis e desenvolvida por um programador independente<sup>86</sup> (*third-party*). O *GH* destaca-se por: (1) ter um funcionamento mais intuitivo; (2) facilidade de implementação de modelos computacionais pelo recurso a ícones; (3) facilidade de importação e exportação de modelos geométricos com o *Rhinoceros*; (4) dispõem de um *kit* de desenvolvimento de aplicativos (SDK)<sup>87</sup>, permitindo que programadores externos desenvolvam módulos que acrescentam novas funções à aplicação. Em suma, o *GH* distingue-se pela facilidade de utilização e versatilidade na adaptação a necessidades específicas das diferentes áreas de projeto, contribuindo para um crescente número de utilizadores do *GH* e de ferramentas disponíveis<sup>88</sup>.

Por último, interessa referir o *Dynamo*<sup>89</sup>, uma API de funcionamento semelhante ao *GH*, atualmente em desenvolvimento pela *Autodesk*, cujo funcionamento é integrado no *Vasari*<sup>90</sup> e *Revit*<sup>91</sup>. Devido à grande disseminação dos programas da *Autodesk* e aos recursos que esta empresa detém, o *Dynamo* poderá ter um grande desenvolvimento a curto prazo. Importa alertar para a exis-

---

<sup>83</sup> Pertencente à empresa *Bentley Systems*, ver <http://www.bentley.com/en-US/Promo/Generative%20Components/default.htm>.

<sup>84</sup> Ver em <http://www.grasshopper3d.com>.

<sup>85</sup> Programa de CAD para modelação tridimensional, pertencente à empresa *Robert McNeel & Associates*, ver <https://www.rhino3d.com>.

<sup>86</sup> David Rutten, ver o portal deste programador: <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com>

<sup>87</sup> SDK é o acrónimo de *Software Development Kit*, ou seja, pacotes de *software* disponibilizados por empresas detentoras de programas, para que programadores independentes, para que estes possam desenvolver partes do programa.

<sup>88</sup> Em portais como o [www.foodforrhino.com](http://www.foodforrhino.com) é possível aceder a dezenas de módulos que ampliam as funções da versão base do *Grasshopper*.

<sup>89</sup> O *Dynamo* substitui o *DesignScript*, a primeira aplicação da *Autodesk* que implementa programação por meios de linguagem textual e visual. Tal como o *Generative Components*, o *DesignScript* também foi desenvolvido por Robert Aish. Para mais informações ver: <http://dynamobim.com/designscript-is-now-dynamo/>

<sup>90</sup> O *Autodesk® Project Vasari* é um programa de CAD de funcionamento tridimensional, específico para o desenvolvimento conceptual do projeto, integrando ferramentas de análise da performance do projeto. Para mais informações ver: <http://autodeskvasari.com>

<sup>91</sup> O *Revit* é um programa CAD específico para modelos de informação da construção (BIM), consultar: <http://www.autodesk.pt/products/revit-family/overview>.

tência de mais exemplos de APIs que integram programas de CAD, permitindo a utilização de LPVs, contudo, os exemplos citados parecem-nos os mais relevantes dentro do contexto da dissertação.

Conforme referido por Aish (2013, p. 47), a crescente integração de ferramentas como o *GC*, o *GH* e o *Dynamo*, no processo de projeto tem dois contributos importantes.

(1) A utilização de computação em projeto é reconhecida como um aspeto intrínseco ao processo criativo de projeto de arquitetura, valorizando métodos em que o arquiteto desloca o seu pensamento entre a intuição e a lógica.

(2) A distinção entre o papel dos profissionais responsáveis pelo desenvolvimento de programas e o arquiteto, enquanto utilizador final do programa, torna-se mais difuso. Isto é, se os arquitetos compreenderem lógicas e linguagens computacionais, conseguirão tirar melhor proveito destas ferramentas. Este argumento não significa que todos os arquitetos devam saber implementar modelos computacionais por linguagens de programação, essas tarefas, caso necessárias no processo de projeto, podem ser executadas por outros membros da equipa de projeto, eventualmente, alguns deles arquitetos que dominam a implementação de conceitos de projeto por meios de computação.

Para terminar, queremos deixar uma nota de ressalva. As APIs que suportam LPVs são constituídas um conjunto de funcionalidades limitadas, a expansão destas funcionalidades para a resolução de problemas específicos<sup>92</sup> só é exequível se o utilizador dominar LPTs. De acordo com esta premissa, consideramos que a aprendizagem e utilização de LPVs não invalida que os arquitetos, ou elementos da equipa de projeto, dominem LPTs. E que deste modo, tenham a possibilidade de implementar uma lógica de projeto específica no programa – “Before I design I will first build my tools” (Aish, 2013, p. 48).

### 2.2.5. Sumário

As GFs desenvolvidas nesta investigação socorrem-se dos conceitos e formalismos descritos neste subcapítulo. As GFs de forma analíticas destacam-se como mecanismos para o estudo de linguagens de projeto existentes. Designadamente, no auxílio à compreensão da evolução de linguagens de projeto. Finalmente, verificam-se as limitações de IA para a implementação de GFs em interpretadores, designadamente para a troca de conhecimento semântico com o utilizador do interpretador.

A disseminação de APIs de linguagens de programação visual integradas em programas de CAD tem permitido que os arquitetos abordem as potencialidades da computação em projeto de modo mais imediato, livres de constrangimentos do conhecimento de linguagens de programação textual.

No próximo capítulo expomos o processo de inferência da GF dos edifícios sagrados de planta retangular, conforme descritos no *De re aedificatoria*, bem como a sua implementação e adequação a um modelo computacional paramétrico, pelo recurso a LPV. Estes dois modelos permitiram testar a capacidade generativa do tratado.

---

<sup>92</sup> Conforme referido, para a descrição de problemas complexos, as LPTs tendem a levar a melhor, pois permitem a elaboração de estruturas que simplificam os respetivos programas (Leitão & Santos, 2011, p. 556).



**3. Descodificação do *De re aedificatoria* (1485):  
inferência da gramática dos templos retangulares**



### 3.1. Um *corpus* não edificado: os edifícios sagrados no *De re aedificatoria*

#### 3.1.1. Introdução

A cultura arquitetônica da Antiguidade Clássica é a base do *corpus* do conhecimento da teoria Albertiana. Esta teoria, desenvolvida no *De re aedificatoria*, é de natureza descritiva e analítica<sup>1</sup>, originária na examinação das ruínas romanas — um *corpus* construído — e da leitura de textos clássicos, nomeadamente o *De architectura* de Vitrúvio — um *corpus* escrito ( ver 3.1.1. *Origem, Princípios e Ordem do De re aedificatoria*). Porém, os princípios da arte edificatória descritos no tratado ultrapassam esse *corpus* inicial, isto é, a sua observação e pensamento permitem-lhe elaborar a sua síntese de princípios edificatórios.

Dado o objetivo de inferência da gramática de forma dos edifícios sagrados de planta retangular conforme descrito no *De re aedificatoria* (GF<sub>A</sub>), o *corpus* da gramática circunscreve-se em exclusivo ao tratado. Ao contrário do que sucede com a maioria das GFs analíticas que se dedicam ao estudo de linguagens arquitetônicas, o *corpus* desta gramática não inclui a análise de edifícios e projetos. Trata-se de um *corpus* não edificado. As descrições das regras de forma e estrutura recursiva da GF<sub>A</sub> são o mais próximas possível à síntese da arte edificatória que Alberti postula, considerando, não apenas os princípios, mas a ordem que lhes está implícita. Importa referir que a inferência da gramática da sistematização da coluna (Coutinho, 2014) resulta igualmente da leitura exclusiva do *De re aedificatoria*.

O presente capítulo tem como objetivo sintetizar o conhecimento do *De re aedificatoria* relativo aos edifícios sagrados de planta retangular. Esta tarefa inicia-se pela leitura do tratado traduzido para português por Santo e Krüger (Alberti, 2011) e, pela seleção das partes relevantes à formulação do *corpus* da gramática.

Dos dez livros que compõem o tratado, nem todos contêm descrições relativas à morfologia, proporções e composição (número, delimitação e colocação) de edifícios sagrados. De entre as partes relevantes, algumas constam de descrições de princípios aplicáveis à generalidade dos edifícios, outras são específicas dos edifícios sagrados.

Conforme indica o título do *Livro VII: O Ornamento dos Edifícios Sagrados*, a generalidade do seu conteúdo é específica a descrições deste género de edifícios. Dada a nossa tarefa, esta secção do tratado é mais significativa para a inferência de regras da gramática dos edifícios sagrados.

As partes mais relevantes à inferência de regras edificatórias deste género de edifícios são: o Livro I, onde se definem os descritores da edificatória, necessários à construção da generalidade dos edifícios; no Livro III, caps. 6 a 14, onde são descritos sistemas de composição estrutural e construtivos dos descritores da edificatória; o Livro VI, caps. 4 a 13, onde são tratados os aspetos relativos ao ornamento geral dos descritores da edificatória; o Livro VII, caps. 3 a 12, onde são descritos aspe-

---

<sup>1</sup> Com esta investigação pretende-se demonstrar que a teoria albertiana prescreve regras edificatórias capazes de gerarem projetos, isto é, que verifica o valor sintético. Este tema é abordado no capítulo 4.5. *Avaliação da capacidade generativa da gramática*.

tos relevantes para o ornamento dos edifícios sagrados, bem como à sistematização da coluna; o Livro IX, caps. 5 e 6, centrados em descrições dos princípios universais da beleza da arte edificatória, nomeadamente, nas conotações que os números têm relativamente à delimitação dos edifícios.

Como exposto no capítulo anterior, o tratado organiza-se segundo uma ordem que parte do geral para o particular e, em paralelo, verifica-se uma segmentação temática marcada pelos níveis do axioma da tríade (necessidade, comodidade e prazer). Tendo estes dois factos em consideração, a síntese que propomos realizar neste subcapítulo segue essa mesma ordem.

### 3.1.2. Os templos e a *necessidade*

No Livro I – *o delineamento*, Alberti desenvolve a ideia de que a diversidade de género de edifícios deriva da aplicação dos princípios edificatórios – necessidade, comodidade, prazer e restauro (I, 2,3)<sup>2</sup>, bem como da sua diferenciação pelo uso, em edifícios públicos, privados, sagrados e profanos (I, 2,1). Esta narração é breve porque o Livro I tem como objetivo principal a definição das partes necessárias à conceção da generalidade dos edifícios, isto é, o delineamento dos descritores da edificatória: região, área, compartimentação, parede, cobertura e abertura. Dada a importância destas partes para a definição de regras de edificação, analisamos sucintamente as descrições e considerações que Alberti faz de cada uma dessas partes.

#### 3.1.2.1. *Descritores da edificatória*

##### *Região e Área*

A região (I, 3 a 6) é referente a uma porção de (I, 7, 1) território onde se implantam os edifícios e as cidades, de entre os aspetos que a escolha da região necessita de observar, destacam-se a localização, resistência e salubridade (I, 6, 7).

“(…) A área será, pois, um certo espaço desse lugar, perfeitamente delimitado, espaço que é rodeado por um muro por conveniência da sua utilização. Mas, na definição de área inclui-se também todo o espaço que pisamos, quando percorremos qualquer parte do edifício. (…)” (I, 2, 2)

A leitura deste excerto sugere que Alberti considera a *área* aquilo que chamamos de área de implantação, isto é, a superfície que compreende o limite do edificado. A área é retratada em termos gerais no Livro I (caps.7 e 8), como veremos mais adiante, descrições mais específicas ocorrem entre os Livros IV e IX, onde por variações ao nível da comodidade e da beleza, Alberti propõe delineamentos específicos para cada um dos tipos de edifícios retratados no *De re aedificatoria*.

---

<sup>2</sup> Esta notação é referente ao Livro, Capítulo e parágrafo do *De re aedificatoria*.

Relativamente à sua forma, Alberti chama atenção para a necessidade da geometria e composição da área serem sólidas, relatando exemplos edificados na Antiguidade cujo delineamento das paredes perimetrais e fundações têm em consideração a topografia e geologia dos lugares.<sup>3</sup>

### *Compartimentação*

A compartimentação é descrita por Alberti como sendo a parte da edificação que tendo em vista a utilidade, a dignidade e a aprazibilidade, dá a medida das partes do edifício como um todo (I, 9, 1). Dependente da função e representatividade do edifício, a compartimentação compreende o processo de dimensionamento e determinação da disposição dos seus espaços.<sup>4</sup> E é ainda determinada pela concordância entre as proporções das diversas partes, membros/componentes, e o todo edificado.<sup>5</sup>

### *Paredes*

As paredes (cap.10) são uma das partes dos edifícios que formalizam a compartimentação. Nesta introdução às paredes, encontra-se a primeira alusão às colunas, referindo que são nada mais do que uma parede perfurada e aberta em vários pontos (I, 10, 2). Com efeito, nomeia os elementos comuns a todas as colunas, mencionando que independentemente da sua espécie (I, 10, 3) e, por uma ordem ascendente na sua posição, são compostas por um dado, base, coluna e capitel.

De modo breve, realiza uma descrição geral das colunas, das suas partes, relações proporcionais e posição (I, 10, 5). Esta descrição não especifica números nem quantidades, mas estabelece relações de dependência entre as partes. Ainda que insuficiente, esta informação é importante para a inferência de regras de geração das colunas. Do mesmo modo, estabelece associações entre as dimensões das paredes e as proporções das colunas, sugerindo que a sua altura respeite a altura das colunas, incluído o capitel, e que a sua espessura tenha correspondências com a largura da base (I, 10, 6)<sup>6</sup>.

### *Cobertura*

À cobertura (cap. 11) atribui a função de proteção “da noite, da chuva e do sol”, e ainda de auxiliar as paredes no suporte dos edifícios. As coberturas devem estar dispostas de modo a resguardarem a

---

<sup>3</sup> Um dos exemplos é o relato da solução adotada na Basílica Constantina de São Pedro (323 d.c.) com a construção de capelas laterais, disposição que Alberti considera ter três propósitos: na fachada Norte de sustentação de terras da colina e drenagem de águas provenientes da colina, protegendo de humidade e conseqüente deterioração das principais paredes da basílica, e na fachada oposta situadas junto da base da encosta, de sustentação da esplanada superior construída sobre as arcadas, contrariar e sustentar todos os desabamentos naturais de terra. (L. B. Alberti 2011, 169) (I, 8, 11). Esta referência remete para disposições que são consideradas por Alberti no traçado da igreja de Sant'Andrea de Mântua, conforme relatado no subcapítulo 4.2.3. *Igreja de Sant'Andrea*.

<sup>4</sup> Espaços públicos devem estar expostos, e espaços privados, mais resguardados. Alberti também considera as variações climáticas ao longo do ano, prevendo configurações adequadas para os espaços de verão e inverno.

<sup>5</sup> A dependência do todo e das partes remete para a analogia edifício-corpo, anteriormente enunciada.

<sup>6</sup> “(...) é igualmente errado construir uma parede mais fina ou mais grossa, mais baixa ou mais alta do que a razão e a moderação exigem, preferiria, contudo, que o meu erro consistisse antes em poder cortar do que em ter de acrescentar.” (Alberti, I, 10, 6)

No contexto da introdução às paredes é feita uma breve mas significativa referência à possibilidade de erro de projeto. Alberti dá a entender ser mais tolerável um erro de dimensionamento por excesso do que por defeito. Em determinados momentos da inferência de regras computacionais que retratem os princípios edificatórios do *De re aedificatoria*, deparámo-nos com descrições eminentemente subjetivas, em que poderão ser considerados dimensionamentos por defeito ou excesso. Com esta afirmação, Alberti sugere que quando se trata de aproximações dever-se-á considerar a majoração das dimensões.

totalidade da área dos edifícios e com uma inclinação que considere o clima da região.<sup>7</sup> A sua forma pode ser semiesférica, em abóbada de ângulo, abóbada de berço, outras com arcos múltiplos, outras que se dizem carenadas e outras que se chamam displuviais (I, 11, 5).

### *Aberturas*

Relativamente às aberturas (I,12), inicialmente divide-as em dois tipos: as janelas, cujas funções são iluminar e ventilar compartimentos interiores; e as portas, que servem de entrada e saída dos edifícios. Na parte final deste capítulo, acrescenta dois tipos de aberturas: os nichos<sup>8</sup>, para acomodação de estátuas e quadros nas paredes; e os intercolúnios<sup>9</sup>, que compreendem a distribuição das colunas ao longo dos pórticos.

A quantidade, dimensionamento e ornamento das aberturas são tratadas em pormenor no Livro VII. Ainda que se trate de uma abordagem inicial ao tema, onde não são especificadas dimensões nem quantidades, Alberti refere dois tipos de condições relativas à quantidade e colocação: a orientação<sup>10</sup>, que deve atender à exposição aos ventos e ao Sol; e a composição<sup>11</sup> das fachadas pelo ritmo das aberturas.

### *Escadas*

O Livro I encerra com um capítulo dedicado à descrição de escadas, uma parte da edificação que não é nomeada no conjunto dos descritores da edificatória. Não obstante, são dadas indicações ao nível do número de degraus, que deve ser ímpar<sup>12</sup> e não mais do que 7 ou 9 seguidos, conforme o número de planetas. Caso haja necessidade de uma escadaria maior, sugere que se intercalem tramos de degraus com patamares (I, 13, 2). À dimensão dos degraus, aconselha uma altura menor que três

---

<sup>7</sup> Devem ser inclinadas para permitirem o escoamento de água da chuva, a inclinação deverá variar com o clima do lugar, em lugares onde neva, as coberturas devem ser bipluviais, elevadas e terem cumeeira com ângulo agudo, e em lugares estivais, a inclinação poderá ser reduzida.

<sup>8</sup> Os nichos são descritos como variações das janelas e portas, os antigos não os utilizariam com dimensões superiores a um sétimo da parede, nem inferiores a um nono. Não é possível compreender se Alberti refere-se à altura ou largura da abertura.

<sup>9</sup> Descrições mais aprofundadas dos intercolúnios são remetidas para o cap.5 do Livro VII.

<sup>10</sup> O primeiro tipo é relativo à orientação das fachadas onde serão abertos vãos. Alberti observa que a abertura de janelas a frentes expostas a ventos salubres são muito rasgadas (I, 12, 4) com peitoril baixo, ao nível dos habitantes, e as aberturas viradas a frentes expostas a ventos menos salubres que situam na parte de cima das paredes e com dimensões estritamente necessárias à iluminação dos espaços interiores. As dimensões das janelas deverão variar conforme o clima e exposição solar da fachada. Nas residências de verão, devem ser de grandes dimensões se voltadas a norte, e de pequenas dimensões se orientadas a Sul. Nas residências de inverno, a disposição deverá ser oposta.

<sup>11</sup> O segundo conjunto de condicionantes remete para questões de composição das fachadas pelo ritmo das aberturas. Os parágrafos 6 e 7 descrevem instruções como: as portas devem imitar as janelas; não se devem colocar pequenas aberturas em paredes mais amplas, nem grandes aberturas em paredes pequenas; sempre que possível utilizar aberturas retangulares ou retilíneas; as dimensões das aberturas devem ser adequadas à dimensão e forma do edifício; as portas devem ser sempre mais altas do que largas, em que as portas mais altas devem ter uma altura duas vezes maior do que a largura, e as mais baixas, uma altura igual à raiz quadrada da largura. No parágrafo seguinte, sugere a conveniência de procurar um efeito agradável pela disposição simétrica de aberturas, colocada em número ímpar de modo a que ambos os lados tenham correspondência entre si e que a abertura central seja de maiores dimensões. Este tema volta a ser tratado no Livro VII, cap.5, e corresponde a relação edifício-corpo.

<sup>12</sup> Quanto aos degraus, principalmente dos templos, preferiram o número ímpar: dizem que assim se faz com que entremos no templo com o pé direito, coisa que pensam estar de acordo com o que é o preceituado pela religião (I, 13, 2).

quartos de pé e maior que um sexto, a profundidade nem menos que pé e meio, nem mais do que dois pés<sup>13</sup> (I, 13, 3).

### Sumário

A seriação dos descritores da edificatória respeita um processo de delineamento que se desloca das “partes” que consideram o todo, para outras mais circunscritas, isto é, Alberti aplica de um modelo hierárquico do tipo *top-down*.<sup>14</sup> Esta ordem manifesta-se na dependência das partes relativamente à sua subsequente: a área é dependente da região; a compartimentação é dependente da área; as paredes são dependentes da compartimentação; a cobertura e as aberturas são dependentes das paredes (Figura 18).



Figura 18. Hierarquização e dependência dos descritores da edificatória. Diferenciando-se entre partes da conceção de natureza mental e de natureza material (corolário metodológico).

No âmbito da descrição das *Paredes* (I, 10, 5) introduz as partes constituintes das colunas, revelando que o diâmetro da coluna é a medida que rege o dimensionamento de todos os componentes do sistema, através de um processo de dependência do todo relativamente às partes. Em certa medida, um sistema que convencionalmente se nomeia de *bottom-up* e contrário ao modo como relaciona o conjunto dos descritores da edificatória.

Nesta perspetiva, a sistematização do pensamento edificatório de Alberti recorre a dois modelos para a sistematização do conhecimento, de ordens opostas e escalas diferenciadas. Se o modelo

<sup>13</sup> Na nota de rodapé 378, p. 184, refere o seguinte: O espelho dos degraus não deverá, assim, ser superior a 22 cm nem inferior a 5 cm e o cobertor não deverá superar 60 cm nem ser inferior a 44 cm.

<sup>14</sup> Conforme observado pelo autor no artigo *Computação e síntese de projecto: modelos computacionais como instrumentos metodológicos no ensino de projecto* (Figueiredo, 2013, p.90): “Peter Rowe (1987, p.67) descreve duas grandes categorias de métodos de planeamento de problemas espaciais. O método top-down, ou de decomposição hierárquica, e o método bottom-up ou de decomposição-recomposição hierárquica. No primeiro o processo de projeto inicia-se pela proposta de uma ideia de forma e função como um sistema uno, a partir do qual se trabalham os detalhes (Mitchell, 1990, p.230). No segundo existe desde o início do processo de projeto uma descrição extensa da estrutura inerente aos problemas de projeto pela sua decomposição em subproblemas ou componentes. Segundo Alexander (1964, p.84) este procedimento inicia-se pela descrição de um conjunto de princípios de projeto ao invés de declarar um único princípio organizador de todos os problemas de projeto. Os sub-problemas, inicialmente isolados, são de seguida combinados conforme as informações que os interrelacionam, normalmente de modo hierárquico e culminando na definição de um único problema/princípio de projeto que tem a característica de incluir todos os princípios que lhe estão subordinados.”

*top-down* permite-lhe enunciar as partes necessárias à definição morfológica do edifício, o modelo *bottom-up* é considerado para a definição de elementos de pormenor, neste caso por uma sistematização que parte da definição das partes da coluna para a possível definição do sistema de colunas (*columnatio*) na sua totalidade. Apesar do contexto introdutório, mas dada a importância generativa do sistema de colunas<sup>15</sup>, é de estranhar que Alberti não clarifique o modo como a dimensão e configuração do *columnatio* se relaciona, por exemplo, com o delineamento da área. Ou seja, não correlaciona as duas escalas.

Se considerarmos as seguintes afirmações de Alberti:

“(...) o delineamento não depende intrinsecamente da matéria; (...) E será legítimo projectar mentalmente todas as formas, independentemente de qualquer matéria; (...) o delineamento será um traçado firme e uniforme, mentalmente concebido, constituído por linhas e ângulos, levado a cabo por uma imaginação e intelecto cultos.” (I, 1, 2)

“(...) À divisão da área total de construção em áreas menores chama-se compartimentação. Daí segue-se que o corpo do edifício, no seu conjunto, seja composto por edifícios menores, unidos e articulados entre si. Chamamos parede a toda a estrutura que se ergue do solo para o alto, a fim de suportar a carga das coberturas, ou que se eleve sob a cobertura para dividir o espaço interior do edifício.” (I, 2, 2)

A região, área e compartimentação, correspondem a conceitos iminentemente mentais, uma vez que não correspondem a matéria edificada. Enquanto que as paredes, cobertura e aberturas operam simultaneamente ao nível mental e material por considerarem a edificação de partes do “corpo”.

“(...) se há algum princípio que se possa aplicar a cada uma dessas partes que dissemos, encontramos três que de modo algum se devem menosprezar e se ajustam perfeitamente às coberturas, às paredes e aos restantes elementos da mesma espécie. (...)” (I, 2, 3)

Neste excerto, Alberti considera que as coberturas e paredes pertencem a uma mesma espécie, às quais aplicam-se os três princípios definidores da concinidade: número, delimitação e colocação.<sup>16</sup> Este facto auxilia à defesa do argumento que advoga uma diferenciação dos descritores da edificatória pela sua natureza.

Conforme explicitado por Krüger (2011, pp. 26-27)<sup>17</sup>, para Alberti, a atividade do arquiteto “para além de unir a prática à reflexão”, considera uma dimensão mental que “precede a da execução

---

<sup>15</sup> É relevante a tese de dissertação de doutoramento intitulada *Gramática da Forma da Sistematização da Coluna de Alberti*, de Coutinho (2014), uma vez que sistematiza e traduz o conhecimento relativo aos sistemas de colunas descritas no *De re aedificatoria* numa gramática de forma.

<sup>16</sup> Ver *numerus, finitio e collocatio*, secção *Beleza intrínseca vs. beleza acrescentada*, subcapítulo, 2.1.3. *A teoria artística no De re aedificatoria*.

<sup>17</sup> “(...) a actividade do arquitecto em Vitruvius deve unir a prática à reflexão, (*a fabrica à ratiocinato*) e em Alberti, para além disso, a dimensão mental precede a da execução da obra; também as relações proporcionais de Vitruvius são organizadas por uma modulação previamente adoptada (a *eurythmia* vitruviana), fundamentada, em parte, pelas correcções ópticas, enquanto para Alberti existe uma procura por um todo que apresente concinidade, como na natureza, definida pelo *numerus*, i.e. pelas qualidades numéricas das suas partes, i.e. pelas suas proporções, pela *finitio*, ou seja, pelos limites ou delimitação do todo constituído por aquelas partes e, ainda, pela *collocatio*, i.e., pelas suas relações recíprocas estabelecidas entre as partes ordenadas do edificado e destas com o todo.” (Krüger, 2011, pp. 26-27)

da obra”. De modo análogo, sugerimos que o processo de delineamento dos três primeiros descritores da edificatória é de natureza genericamente mental e precedem o delineamento das paredes, coberturas e aberturas — um conjunto de descritores cujo delineamento depende da mente e da matéria (Figura 18). É por este motivo que no âmbito da construção (Livro III), a ordem de temas tratados por Alberti corresponde apenas a descritores cuja função se relaciona com a matéria.

Tal como no Livro I, o *Livro II: Os Materiais* é composto por 13 capítulos que se dividem em duas partes. A primeira (cap.1 a 3) é dedicada ao aconselhamento de procedimentos para um rigoroso controlo do projeto, dos seus pormenores, do planeamento e orçamento da obra, e fiscalização da construção.<sup>18</sup> A segunda parte é dedicada à descrição de diferentes tipos de materiais, observando a sua proveniência, características, processos de transformação e métodos construtivos.<sup>19</sup>

### 3.1.2.2. A Construção

O *Livro III: a Construção*, é dedicado à descrição de sistemas construtivos para a execução dos principais componentes dos edifícios. Se o Livro I trata da conceção espacial, o Livro III, que encerra o nível da necessidade, alia a função à materialidade. Aqui, Alberti formula aspetos gerais da construção dos edifícios. As suas descrições focam-se em três partes: *Paredes* (cap.6-11)<sup>20</sup>; *Coberturas* (cap.11-14); *Pavimentos* (cap.16). Ainda que estes três elementos contenham descrições úteis à edificação, as informações relativas aos pavimentos são da ordem da materialidade e métodos construtivos. Estas descrições não introduzem informações relativas ao dimensionamento e geometria dos edifícios, e deste modo não são diretamente pertinentes à inferência de regras de forma para a geração de edifícios sagrados.<sup>21</sup> Por este motivo, no âmbito deste subcapítulo não trataremos deste tema.

---

<sup>18</sup> Priori à fase de obra, recomenda não apenas a realização de desenhos e esboços, mas também de módulos e modelos de madeira ou de qualquer outro material (II, 1, 4) para examinar o projeto nas suas diversas dimensões, e facilitando a tomada de decisão de introdução de alterações ao projeto. Avisa ainda, que este processo deve ser demorado, que o tempo permite reparar e refletir atentamente naquilo que terá escapado (relativo ao princípio da duração) (II, 1, 6). O último capítulo do Livro II (cap.13) retoma a enumeração de conselhos relativos à execução da obra, bem como, profecias e superstições que os Antigos utilizavam para assegurar que a obra decorra favoravelmente. Deste modo, termina o Livro III com um tema semelhante ao do início.

<sup>19</sup> A madeira (cap. 4 a 7), a pedra (cap. 8 e 9), também provenientes da pedra, o tijolo (cap.10), a cal, o gesso (cap.11), a areia e os seus derivados em forma de argamassas (cap.12).

<sup>20</sup> Os cap. 10 e 11 encerram a parte relativa às paredes, centrando-se na utilização de processos construtivos com junta seca, juntas de cal ou argamassas de areia. No Cap.11, faz uma síntese dos diversos conselhos que foi desenvolvendo na primeira metade do Livro III: “Resta-me referir, à maneira de epílogo, uma lei antiquíssima entre os arquitetos, que eu recomendo que seja observada como um oráculo. Essa lei é assim: assenta o muro numa base solidíssima; coloca as partes de cima de modo a corresponderem perpendicularmente ao meio das partes de baixo; reforça os cunhais e a ossatura dos muros, desde o chão até acima, com pedra mais resistente; amolece bem a cal; não coloques pedra na obra que não seja húmida, às agressões mais nocivas contrapõe pedra mais rija; constrói a alvenaria à régua, nível e prumo; faz com que o meio das pedras colocadas a seguir assente nas juntas das precedentes; expõe as pedras inteiras nos paramentos, com as partidas enche o interior do muro; une as fiadas de cada paramento, fazendo passar pelo meio do muro frequentes ligamentos de pedra.” (III, 11, 7)

<sup>21</sup> O livro termina com descrições relativas aos pavimentos (cap. 16). Alberti, mais uma vez, descreve os vários tipos de pavimentos, podendo variar entre pedra, mármore e argamassas, bem como os melhores métodos e cuidados a ter relativamente à sua execução, nomeadamente no contacto com o solo e dureza dos acabamentos.

## *Paredes*

Tendo em consideração a função das paredes, Alberti divide-as em dois componentes construtivos: fundações e muros. Após a descrição das fundações<sup>22</sup>, Alberti retrata os muros, subdividindo-os em subcomponentes, que novamente desempenham funções específicas no sistema construtivo dos muros: à parte inferior, chama de pódio ou base; a intermédia, o paramento, ao qual corresponde o muro; e a superior, para remate do muro e que se chama cornija (III, 6, 2). Subsequentemente, descreve os subcomponentes que compõem o paramento, ou muro: ossatura, complemento e ligamentos.

Ainda que não especifique a dimensão das paredes na sua totalidade, trata do dimensionamento e disposição das pedras na construção dos muros, inclusive dos elementos que compõem a ossatura, e que conforme Alberti refere, a sua largura deve ser igual à das paredes, de modo a não precisar de enchimento no meio (III, 7, 4)<sup>23</sup>. Esta é a primeira referência à ossatura, a qual compreende todos os elementos de suporte do edifício e é parte integrante do muro. Consta de cunhais, pilastras e colunas, inseridas ou integradas no muro, bem como todos os elementos que desempenham a mesma função das colunas para suporte de travejamentos e de arcos das coberturas (III, 6, 3)<sup>24</sup>. Os elementos de complemento das paredes (III, 8) correspondem aos paramentos exterior e interior<sup>25</sup>, e ao enchimento<sup>26</sup>. Finalmente, trata os ligamentos (III, 9), cuja função é travamento dos paramentos exteriores e interiores, com elementos da ossatura, dos quais se destaca a cornija.<sup>27</sup>

## *Cobertura*

Dada a necessidade de variações formais das coberturas referidas no Livro I (I,11,5), Alberti descreve três tipos de coberturas: retas, curvas e mistas.<sup>28</sup> As coberturas retilíneas (III, 12) são estruturalmente compostas por traves que, dependendo da sua dimensão, variarão entre simples ou duplas. Sobre as

---

<sup>22</sup> Os três capítulos iniciais e o cap.5 do Livro III são dedicados à construção de fundações e alicerces, e o cap. 4 interrompe essa descrição para rever as características das pedras e argamassas. Descreve diferentes tipos de paredes de fundação, as mais comuns são as de suporte de paredes contínuas, outras que servem de apoio a pórticos e colunatas, de carácter pontual e travadas com arcos com o dorso voltado para o solo (III, 5, 6), ou ainda fundações próprias para áreas marítimas.

<sup>23</sup> Neste contexto é dado destaque à importância estrutural dos cunhais, “para que não arrastem consigo a ruína de duas alas”, e portanto necessário o seu reforço, sendo mais grossos que os muros e, nos pórticos colunados, reforçavam (os antigos), junto dos cunhais, as extremidades dos muros (III, 7, 4). Logo a seguir, descreve que os cunhais devem ser compostos por pedras de grandes dimensões, para penetrarem como braços e cotovelos, por dentro dos muros conjuntos. A sua largura deve ser igual às das paredes, de modo a não precisar de enchimento no meio. Alberti amplia ainda esta disposição para todos os elementos da ossatura do muro, bem como para os lados das aberturas.

<sup>24</sup> Nas aberturas, a ossatura situa-se em ambos os lados - os lábios das aberturas, partilhando em simultâneo a natureza dos cunhais e das colunas, e ainda na parte superior, seja em lintel horizontal ou em arco. Os elementos de suporte que se situam e dispõem nos espaços entre estas partes principais chamar-se-ão, com propriedade, partes complementares.

<sup>25</sup> Compostas por um paramento exterior, e outro interior, Alberti prescreve pedras mais duras para o exterior, exposto a mais agressões do que o paramento interior.

<sup>26</sup> Nos pontos que correspondem à ossatura o enchimento é feito com pedra emparelhada.

<sup>27</sup> As cornijas são o mais importante dos elementos de ligação dos cunhais aos restantes elementos da ossatura. Situadas na parte superior dos muros, constituídas por pedras de grande dimensão, as cornijas acumulam a função de auxílio à estabilidade dos muros com a de proteção de entrada de águas pelo topo do muro.

<sup>28</sup> No cap.15 do Livro III, Alberti relaciona a diversidade de coberturas com a natureza do lugar, o clima e materiais disponíveis, bem como estabelece relações entre os tipos de telhas apropriados a cada uma dessas situações.

traves afixam-se barrotes transversais ao travejamento e caibros a ligá-los. Os elementos de complemento são compostos por fasquias e tábuas pregadas ao ligamento e como paramento exterior são colocadas telhas.<sup>29</sup> As coberturas curvas recorrem ao mesmo sistema construtivo, ainda que os elementos de travejamento adotem a forma curva. Estas traves em arco são constituídas por aduelas, em que uma delas serve de apoio ao próprio arco nos seus dois pés.<sup>30</sup> Segundo Alberti, as coberturas mistas (III, 14) caracterizam-se pela utilização de abóbadas. As abóbadas de berço<sup>31</sup>, utilizadas na cobertura de edifícios sagrados (VII, 10, 5), são descritas como sendo similares a um conjunto contínuo de arcos, ou a uma trave curva que se estende ao longo de um plano. As abóbadas seguem ainda a mesma sequência construtiva dos muros, constituindo-se por ossos, ligamentos e complementos (III, 12, 1).

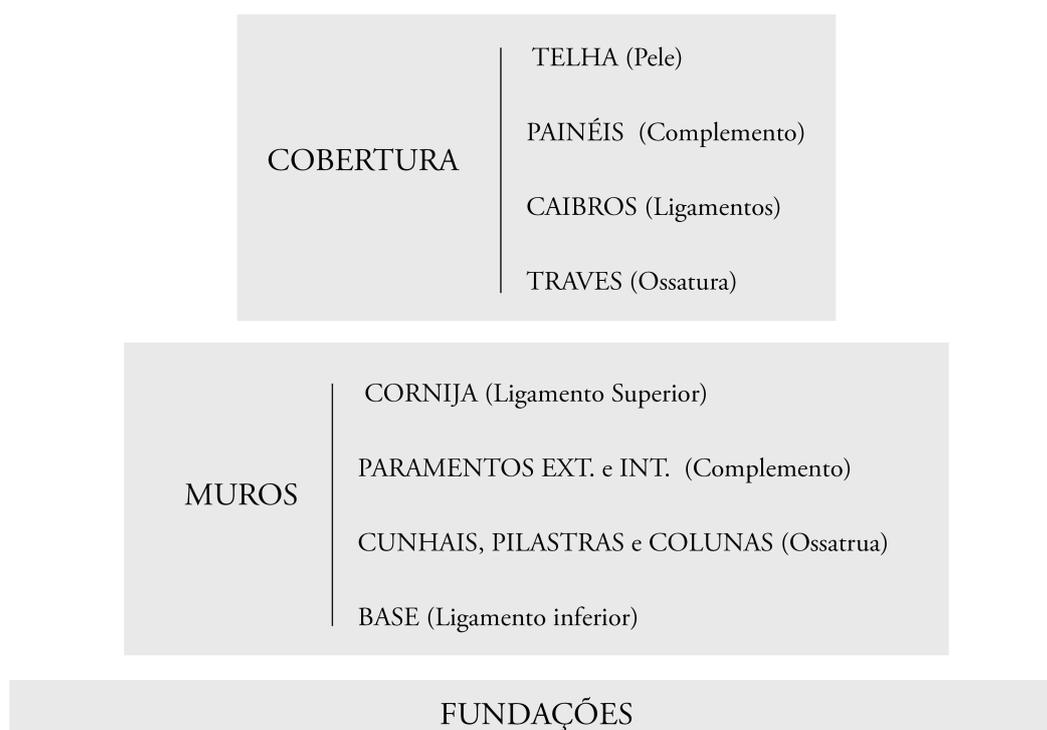


Figura 19. Hierarquização das principais partes constituintes da generalidade dos edifícios, tendo em consideração a sua função construtiva, conforme o axioma edifício-corpo. estrutural. As fundações e muros compõem as paredes, segmentados nos seus componentes provenientes da aplicação do corolário estrutural.

Krüger (2011, p. 258, n.621), apoiado por uma citação a Caye e Choay (2004, p.165, n.64): “os ossos são as traves, os ligamentos os caibros, o complemento os painéis e a pele as telhas”, sugere a existência de uma conceção estrutural no *De re aedificatoria*, uma vez que Alberti adopta as mesmas categorias disciplinares para diferentes elementos construtivos, no caso das paredes e cobertura. Ve-

<sup>29</sup> Alberti aconselha a utilização de mísulas para fixação das traves aos muros, e ainda, aspetos relacionados com as características das traves de madeira. Na parte final deste capítulo refere que o que foi dito sobre a cobertura de madeira para as coberturas em pedra.

<sup>30</sup> Dada a variedade de arcos presentes na edificação (I, 12) (volta perfeita, ou semicircular, o arco abatido, e o arco apontado), Alberti descreve sistemas a adotar na construção dos diferentes arcos, inclusive quando constituídos por elementos de pedra.

<sup>31</sup> O cap. 14 do Livro III é dedicado à descrição e diferenciação dos seus diversos géneros de abóbadas. As principais são as de berço, de ângulo e esférica e, segundo Alberti, as outras são as compostas por partes destas.

rifica-se um processo recursivo de segmentação e subsegmentação dos elementos construtivos das principais partes da generalidade dos edifícios. No Livro III, esta sistematização é apoiada na função estrutural de cada um dos elementos (Figura 19).

### *Sumário*

Os Livros I e III são comuns na ordem como são colocados os componentes da edificação. O Livro I inicia-se pela relação do edifício com o contexto, ao nível da região, para empreender uma ascensão da área até à cobertura, e termina com as aberturas, que em certa medida são colocadas como se tratassem de elementos que se subtraem às paredes, ou ainda, caso se tratem de pórticos, que as substituem. Mais adiante veremos que são consideradas exceções, mas é a forma global dos edifícios que associam as aberturas.

A diferenciação das partes que compõem os edifícios é fundamental para o estabelecimento de uma metodologia que auxilia à definição de um sistema de projeto. As descrições dos edifícios são marcadas por esta diferenciação e conseqüentemente é determinante para o modo como sistematizaremos a informação edificatória para a definição da GFa.

Esta recorrente segmentação, inicialmente realizada a partir dos três princípios edificatórios, é seguida da divisão dos edifícios em quatro tipos, correspondentes à taxonomia de usos da edificação, e ainda, pela enunciação das seis partes em que todos os edifícios se dividem (axioma da conceção). Esta organização sugere que Alberti recorre à sistematização e enumeração do seu discurso para facilitar o acesso deste conhecimento aos leitores.<sup>32</sup>

Neste livro (I), existe uma diferença no detalhe com que aborda questões das diferentes partes dos edifícios. As seis partes não são necessariamente edificáveis, mas “partes” que determinam a configuração do edifício nas suas diferentes dimensões (ou relações, desde urbanas às de configuração espacial).

### 3.1.3. Os templos e a *comodidade*

O *Livro IV: Edifícios para Fins Universais* e o *Livro V: Edifícios para Fins Particulares* resultam do binómio universal/particular, constituinte da taxonomia de usos dos edifícios elaborada no Prólogo (ver Figura 2). Alberti propõe que à diversidade dos seres humanos correspondam diferentes géneros de edifícios, dada a diversidade da natureza de usos dos edifícios. A diversidade resulta da hierarquia social da comunidade, diferenciando os homens detentores da razão, do conhecimento das artes liberais, e ainda, da prosperidade da boa sorte.<sup>33</sup>

Ao género universal dos edifícios, descritos no Livro IV, correspondem obras de carácter público, destinadas a todos (IV, 8, 7).<sup>34</sup> No contexto do privado, uma primeira parte do Livro V

---

<sup>32</sup> Não é nesta parte do tratado que a especificidade das dimensões ou princípios arquitetónicos são tratados.

<sup>33</sup> Este grupo de homens deverá conduzir a sociedade e a religião e os restantes cidadãos obedecer-lhes (IV, 1, 10).

<sup>34</sup> Diversos capítulos do Livro IV são utilizados em descrições relativas à organização das cidades, às características das regiões onde se devem implantar, às muralhas que as limitam, às vias, portas e portos que lhes dão acessibilidade, às praças, para a configuração de espaços da comunidade, e ainda, a sistemas de esgotos que conferem salubridade às cidades.

centra-se nos edifícios destinados ao domicílio<sup>35</sup> dos cidadãos notáveis, os “magnates da República”<sup>36</sup>, num segundo momento aos edifícios com funções cívicas e económicas<sup>37</sup>, e finalmente, retorna ao domicílio, descrevendo as casas rurais e domicílios urbanos<sup>38</sup>. Alberti enquadra edifícios como o templo, o tribunal e o teatro no âmbito do privado, por considerar que não são do domínio público, mas dos sacerdotes, magistrados e artistas.

O cap. 6 do Livro V, dedicado aos templos, introduz três temas que importa reter, relacionando: o género de templo à sua dimensão; a orientação das fachadas a hábitos religiosos; diferentes tipos de cobertura à beleza e resistência construtiva dos mesmos.

Ao contrário do que acontece noutras partes do tratado, em que Alberti descreve de modo sistemático e sequencial o carácter edificatório das partes e do todo, no âmbito do Livro V, a diversidade de temas tem como objetivo introduzir questões relativas à comodidade dos templos.

#### *A dimensão dos templos, um corpo adimensional*

Alberti diferencia os templos entre maiores e menores (V, 6, 5). A variação da sua dimensão resulta da relevância da sua localização e contexto social. Os templos maiores são reservados a lugares de “veneração e majestade” onde presidem pontífices de maior categoria, e os outros, os menores, localizados em lugares mais modestos e governados por pontífices de menor categoria.<sup>39</sup>

“(…) Os templos menores e as capelas imitarão as formas do templo maior, salvaguardada a proporção da dignidade do lugar e a sua função.” (V, 6, 8)

---

<sup>35</sup> Primeiro, nos edifícios destinados ao domicílio (cap.2), propõe um pensamento análogo ao da organização das cidades, isto é, que o delineamento das partes constituintes considere a localização, o clima, os acessos, as funções dos compartimentos e os diferentes graus de privacidade dos seus espaços, do mesmo modo, que as partes constituintes das cidades contribuem à sua organização.(V, 2, 1)

Aos magnates da República destina um segundo género de domicílio, adequado ao desempenho dos seus cargos cívicos:

“(…) para o senado a cúria, para o juiz a basílica ou o pretório, para o comandante o acampamento militar ou a frota, etc. E o pontífice? A este convém, acima de tudo, não apenas o templo, mas também os edifícios que se assemelham a acampamentos, (...)” (V, 6, 4 - 5)

<sup>36</sup> Sejam eles do setor sagrado ou do setor profano.

<sup>37</sup> A diversidade de género dos edifícios apresentados no Livro V (do cap. 6 ao 13) é ditada pela finalidade a que se destinam. Esta tarefa é iniciada pelos edifícios que servem a religião: templos (cap. 6), mosteiros e domicílio dos que prestam serviços divinos (cap. 7). Sucedem-se as escolas e auditórios, que acolhem as artes liberais e palestras, e ainda os hospícios (cap.8), dedicados a albergar doentes contagiosos, e outros hospícios, destinados aos que precisam mais de serem albergados do que tratados. De seguida, trata os edifícios destinados a atividades que ocorrem no centro cívico das cidades: a cúria do senado, o templo e o tribunal (cap.9). Os acampamentos militares e sistemas portuários que auxiliam à proteção das cidades (cap.10 a 12).<sup>37</sup> Os edifícios que albergam as principais atividades económicas de toda a sociedade: o celeiro público, o erário, o arsenal, que devem localizar-se no centro da cidade, em locais acessíveis e seguros, e o mercado, os estaleiros navais e as cavala riças. As prisões, descritas de modo mais extenso (cap.13).

<sup>38</sup> Nos últimos capítulos do Livro V (entre os cap.14 e 18) regressa aos edifícios particulares privados, desta feita, em dois momentos descritivos. O primeiro relativo às casas rurais - residências de verão dos senhores, mas também dos aposentados dos caseiros, trabalhadores, bem como dos estábulos, capoeiras, pombais, e ainda viveiros marinhos. O segundo, às residências urbanas, onde passariam o inverno.

<sup>39</sup> Para descrições mais profundas deste tema ver Livro V, cap.6, parágrafo 5.

“Há que distinguir dois tipos de templo: o maior, no qual o pontífice de categoria mais elevada, em rito solene, celebra as cerimónias estabelecidas e o sacrifício; e outros, em que presidem os pontífices de menor categoria, no número dos quais se incluem as capelas nos bairros da cidade e os santuários no campo. O templo maior será situado, acaso mais comodamente, no centro da cidade, mas com mais nobreza afastado da aglomeração e da frequência dos cidadãos, com mais dignidade numa colina, com mais solidez numa planície por causa dos terremotos. Enfim, o templo deve ser colocado no lugar em que haja de ter maior veneração e majestade. Por isso, deve ser, absolutamente, retirada para muito longe dos arredores do templo toda a espécie de imundície, sujidade e indecência, que possam ofender os pais, as matronas, as donzelas, quando vêm fazer as suas orações, ou desviá-los do propósito de se entregarem às coisas santas.” (V, 6, 5)

Esta afirmação, de que qualquer que seja a dimensão dos templos aplicar-se-ão às mesmas regras para a derivação das suas formas, e que as suas proporções apenas devem ter em consideração o contexto onde se inserem, é vital para que não se diferencie a aplicação de princípios edificatórios apesar da diferença de escala das duas categorias de templos.<sup>40</sup>

Esta ideia é coerente com a noção de edifício-corpo Albertiana, retratada anteriormente (ver secção *Regras da teoria* no subcapítulo 2.1.2. *O pensamento De re aedificatoria: lógica da teoria e da prática*), a qual sugere que todos os membros de uma mesma espécie apresentem a mesma morfologia e relações entre as suas partes, independentemente das dimensões do seu corpo. Ao nível da geração da forma e, dada a dependência das partes pelo todo, estas relações correspondem a variações paramétricas da forma.

Simultaneamente, uma vez que não existe uma relação direta entre a dimensão e a forma dos templos, na nossa tarefa de inferência de regras de geração de edifícios sagrados poder-se-á considerar que ao nível das medidas absolutas (p. ex. comprimento, largura e altura) os templos são adimensionais. O que importa inferir são as *rationes* das relações das partes, isto é, a proporção, ou a delimitação.

#### *A orientação dos templos*

Seguindo-se de uma análise à orientação dos templos, para tal, Alberti considera disposições adoptadas na Antiguidade, que privilegiavam a orientação a ocidente, mas também de épocas mais próximas da sua, preferencialmente orientados a nascente. Com efeito, e algo que acontece recorrentemente, expõe diferentes opções para a edificação, sem valorizar uma em detrimento das outras, sugerindo que a escolha se fará de acordo com o contexto do edifício.<sup>41</sup>

#### *A cobertura dos templos, entre a comodidade e o prazer*

“O templo em abóbada será mais imune aos incêndios; em arquitrave, mais invulnerável aos terremotos; o primeiro, mais resistente ao passar do tempo; o segundo, superior em beleza.” (V, 6, 7)

Este excerto alude às diferenças de resistência e beleza das coberturas em abóbada e arquitrave, relacionando as suas performances à forma, sem determinar a superioridade de uma em relação à outra, isto se considerarmos de igual importância as dimensões edificatórias da necessidade, comodidade e

---

<sup>40</sup> O mesmo se verifica, quando propõem a analogia entre a organização da cidade e a organização da casa, como referimos mais acima. O pensamento de projeto não se altera pela dimensão da edificação, o que é relevante é a aplicação dos princípios da edificação. Se, tal como no caso da cidade e da casa, partilham princípios edificatórios análogos as premissas de projeto serão semelhantes.

<sup>41</sup> “O arquiteto Nigrigéneo, que escreveu uma obra sobre os limites, depara-se que os antigos arquitetos consideravam que os templos dos deuses eram adequados aqueles cujas fachadas estavam voltadas a ocidente, mas que à posteridade agradou alterar todo este costume sagrado e consideraram que os templos e os seus limites deviam ser voltados para a zona do céu de onde a terra recebe a primeira luz do dia, de tal maneira que logo desde a aurora contemplem o sol nascente. No entanto, vejo que nos santuários e nas capelas os antigos aceitavam que as fachadas se apresentassem de frente para os que chegavam vindos do mar, do rio ou da estrada militar. (...)” Segundo Krüger, (2011, p.332) Nigrigéneo *trata-se de Higinio Gromatico (De limitibus constituendis, II 17-21)*, autor de um tratado sobre a divisão e atribuição de terras, escrito provavelmente no principado de Trajano. Gromaticus significava agrimensor para os Romanos. Cf. Portoghesi, 1966, p. 360, n. 1.

prazer. Deste modo, se o princípio do prazer se sobrepuser ao da necessidade (função estrutural), a cobertura superior em beleza é a preferida, e a cobertura em arquitrave seria então a escolhida.

### *Sumário*

Os aspetos relativos à edificação dos templos relatados no *nível da comodidade* não são extensos. No entanto, retém-se que apesar do uso implicar variações ao nível da dimensão dos templos, não implica diferenciações ao nível da forma. Este princípio permite-nos generalizar as regras de geração para todas as dimensões de templos, ou seja, num primeiro momento, as dimensões absolutas dos templos não introduzem quaisquer condições para a geração da sua forma.

Importa ainda reter mais dois aspetos descritivos enunciados no Livro V. O primeiro é a orientação dos templos, que poderá ser a ocidente se tomarmos como referência exemplos da Antiguidade, ou a nascente, se a referência são os contemporâneos de Alberti. Alberti não estabelece critérios nem condições para a adopção de uma orientação relativamente à outra. Ao processo de decisão da orientação dos templos não é associada qualquer relação com a forma dos mesmos, neste sentido, não interfere com as regras de geração dos templos.

O segundo aspeto, é relativo à escolha do tipo de cobertura dos templos. Alberti dá duas possibilidades, a cobertura em abóbada, ou telhado. Considerando a primeira mais resistente e a segunda mais bela. Ainda que no âmbito do Livro V não expresse preferência por um dos tipos, se considerarmos que Alberti refere que o princípio da beleza sobrepõe-se a todos os outros (VI, 1, 3), então a cobertura em arquitrave seria a mais-querida.

Nos livros relativos ao ornamento, Alberti desenvolve de modo mais extenso descrições relativas a regras da edificação dos templos, inclusive no âmbito do dimensionamento das suas partes, bem como dos tipos de coberturas.

#### 3.1.4. Os templos e o *prazer*

Concluídas as análises de duas das três partes do *De re aedificatoria*, dedicadas à necessidade (construção) e à comodidade (utilidade) respetivamente, resta a beleza (ou prazer) considerada por Alberti dos princípios da edificação o mais nobre e necessário (VI, 1, 3).<sup>42</sup>

“Dissemos que a arte edificatória consta de várias partes e que umas dessas partes – como a área, a cobertura e outras similares – são aquelas que abrangem todo o género de edifícios, qualquer que ele seja, e que outras são aquelas em que os edifícios se distinguem entre si. Até aqui, tanto quanto parecia ser pertinente para o nosso propósito, fizemos uma resenha dos ornamentos das primeiras partes; impõe-se, agora, que falemos dos ornamentos das segundas.” (VII, 1, 1)

---

<sup>42</sup> “Na terceira parte do tratado, a relativa à beleza, Alberti subordina as anteriores (a da materialidade da construção, bem como da sua comodidade), de modo a proporcionar graciosidade e apazibilidade (*gratia e amoenitas*) o que mostra, apesar de não cessar de explorar, observar, medir e esboçar atentamente as obras do passado, que a sua abordagem à Antiguidade Clássica é, essencialmente, arquitectónica e não arqueológica, na medida em que se apresenta sempre com uma finalidade propositiva.” (Krüger, 2011, p.375, n. 988)

O *Livro VI: O Ornamento* é o primeiro dos quatro livros que compõem o nível do prazer. Este livro centra-se na descrição de ornamentos que abrangem todo o género de edifícios, e que “aplicam-se singularmente a cada uma das partes” (VI, 1, 1)<sup>43</sup>, isto é, aos descritores da edificatória.<sup>44</sup>

Após elucidar das dissemelhanças de beleza e ornamento<sup>45</sup>, e seguindo a mesma ordem com que enuncia os descritores no Livro I, foca-se no ornamento da região e área (cap. 4), da compartimentação (cap. 5), dos muros e seus revestimentos (caps. 6, 9 e 10), dos revestimentos das coberturas e respetivos ornamentos,<sup>46</sup> bem como no funcionamento e utilidade de diversos artefactos<sup>47</sup> (caps. 7 e 8). Por último, são tratados os ornamentos das aberturas (cap. 12), aos quais associa aspectos gerais do ornamento das colunas (cap. 13).<sup>48</sup> De entre estes temas, apenas as descrições relativas à compartimentação (VI,5) e às aberturas falsas (VI, 12) introduzem dados relevantes ao delinearmento dos edifícios sagrados, motivo para os retratarmos neste subcapítulo.

O segundo livro do nível do prazer, o *Livro VII: O Ornamento de Edifícios Sagrados*, é o mais relevante para a formulação do *corpus* da gramática. Neste livro são descritos os princípios edificatórios das partes dos templos, e portanto essenciais à inferência das regras da GF<sub>A</sub>. Inicialmente, relaciona o ornamento dos templos com o seu contexto, isto é, à escala da cidade e da região (caps. 1 a 3). Seguindo-se da descrição das partes que compõem os templos, tendo em consideração princípios para o delinearmento da área e compartimentação espacial (cap. 4). Antes de caracterizar o ornamento e delinearmento das paredes e coberturas (caps. 10 e 11) descreve um conjunto de regras para o colocação e delimitação do(s) pórtico(s) (cap. 5). Sucedem-se descrições relativas aos sistemas de colunas (caps. 6 a 9), cujo conhecimento é indispensável à derivação das partes constituintes do pórtico, bem como ao ornamento e composição das aberturas (cap. 12) dos templos. Os capítulos finais do Livro VII (cap. 13 a 17) são dedicados à descrição de elementos de ornamento dos rituais religiosos<sup>49</sup>, bem como descrições relativas ao ornamento das basílicas,<sup>50</sup> pelo que tratam-se de temas menos relevantes à inferência da morfologia dos templos.

---

<sup>43</sup> “(...) Destas regras umas compreendem em geral a beleza e os ornamentos de todo o edifício; outras aplicam-se singularmente a cada uma das partes. As primeiras são retiradas do interior da filosofia e utilizadas para orientar e configurar os processos e o método desta arte; as segundas, por sua vez, extraídas do conhecimento que acabámos de referir e, por assim dizer, talhadas segundo a norma da filosofia, produziram o encadeamento da arte. Falarei primeiro daquelas que se relacionam mais directamente com a arte; das outras, que apreendem a questão de forma global, servir-me-ei delas à maneira de epílogo.” (VI, 3, 8)

<sup>44</sup> O ornamento da região, área, compartimentação, parede, cobertura e abertura, são tratados entre os capítulos 4 e 13 do Livro VI.

<sup>45</sup> Ver *concinmitas* no subcapítulo 2.1.3. *A teoria artística no De re aedificatoria*, nomeadamente no que diz respeito à *beleza intrínseca e beleza acrescentada*.

<sup>46</sup> Para ornamento das paredes e coberturas, (VI, 5, 5) Alberti considera a aplicação de revestimentos de reboco, de estuque, ladrilhos e pinturas sobre os paramentos. Uma vez que estes ornamentos não interferem na composição geral dos edifícios, isto é, no delinearmento dos descritores da edificatória, resolvemos excluir deste estudo o enunciado destas descrições.

<sup>47</sup> Descreve a utilidade e funcionamento da roda, roldana, parafuso e alavanca.

<sup>48</sup> O último capítulo do Livro VI (cap. 13) é dedicado à geração e delinearmento do fuste. Ainda que o fuste não pertença ao grupo dos descritores da edificatória, conforme enunciado no axioma da conceção, é parte constituinte das colunas utilizadas no ornamento das paredes e aberturas. Para informações relativas ao ornamento do fuste e consultar as teses de Castro e Costa (*Modelação computacional e materialização digital de elementos clássicos de arquitectura - Sistematizando a coluna de Alberti*, 2012), e Coutinho (*Gramática da Forma da Sistematização da Coluna de Alberti*, 2014).

<sup>49</sup> Como os altares e candelabros (VII, 13), e mais adiante retrata monumentos – altares, pequenos templos, colunas e outros sinais de reconhecimento a serem reconhecidos (VII, 16, 2), e esculturas (VII, 16, 7-9) – que os antigos erigiam para a celebração e sinalização de

O conteúdo geral do *Livro VIII: Ornamento de Edifícios Públicos Profanos* corresponde ao anunciado no seu título,<sup>51</sup> não introduzindo conhecimento relativo aos edifícios sagrados, pelo que no âmbito do nosso trabalho não analisamos informações relativas ao mesmo.

Finalmente, o *Livro IX: O Ornamento de Edifícios Privados*, consta de uma secção inicial (caps.1 a 4) centrada no ornamento e edificação de residências privadas urbanas e não urbanas, após a qual, Alberti inicia a enunciação de sistemas proporcionais para a delimitação dos edifícios (caps.5 e 6). Estes sistemas respondem aos princípios universais de beleza da arte edificatória albertiana (número, delimitação e colocação), uma vez que à dimensão quantitativa dos números associa uma dimensão qualitativa. Dado o carácter universal destes sistemas proporcionais é relevante estabelecermos uma síntese dos mesmos, e ainda, escrutinar a sua correspondência, e ou complementaridade, com as proporções formuladas no Livro VII, no âmbito das descrições dos edifícios sagrados.

O Livro IX termina com um conjunto de recomendações que genericamente descrevemos como sendo relativas a procedimentos de planeamento e preparação do projeto e da obra, tendo em vista a minimização de erros. Apesar de se tratarem de aspetos originais no discurso e prática arquitetónica, não correspondem a temas relevantes à inferência de regras de edificação de edifícios sagrados.

Posto isto, encerra-se a narração do processo de seleção de conteúdos do tratado, relativos ao nível do prazer, que consideramos relevantes à elaboração do *corpus* de conhecimento da GF<sub>A</sub>. A estrutura deste subcapítulo tem em consideração essa seleção, bem como a ordem geral de temas tratados no Livro VII, cujo conteúdo e ordem são vitais ao *corpus* da gramática. Acrescenta-se ainda a análise à dimensão edificatória dos números, descrita no Livro IX (caps.5 e 6). Com efeito, destacam-se seis temas centrais à constituição do *corpus* da GF<sub>A</sub>: regras para a composição espacial, atendendo a princípios para a sua delimitação e compartimentação (VII, 4); princípios para o delineamento do pórtico (VII, 5); princípios para a sistematização da coluna (VII, 6-9 e 11); princípios para o delineamento de paredes e cobertura, isto é dos descritores da edificatória de natureza mental e material (VI,

---

acontecimentos e pessoas que marcaram a Antiguidade, e ainda à conveniência da utilização de estátuas nos templos, à sua localização e matéria (VII, 17).

<sup>50</sup> Os capítulos 14 e 15 são destinados aos edifícios que acolhem o senado, às basílicas, e à aplicação do sistema de colunas em arcadas (VII, 15), elementos de composição dos pórticos interiores destes edifícios. Espacialmente, as basílicas são compostas por “uma nave muito ampla e transitável, cingida, sob a cobertura, de pórticos interiores” (VII, 14, 4) e ainda uma tribuna que se situa na cabeceira (VII, 14, 1). Os pórticos interiores, em número simples ou duplo, e composições em que há a sobreposição de vários pórticos constituem os elementos morfológicos que mais distinguem as basílicas dos templos, conforme descritos no *De re aedificatoria*. De resto, Alberti considera que a basílica tem algo da natureza do templo, que o imita no ornamento, mas que não o acompanha na austeridade que se aplica aos templos (VII, 14, 2).

<sup>51</sup> Numa primeira secção, são tratadas vias (cap. 1), sepulcros (cap. 2), edifícios fúnebres - capelas, pirâmides, colunas e mausoléus (cap. 3). O cap. 4 é dedicado a inscrições – epigramas, símbolos ou imagens, a utilizar em túmulos, edifícios sagrados ou habitações, tal como as utilizadas nas fachadas de Santa Maria Novella e do templo Malatestiano. O cap. 5 trata da construção de torres de vigia, o cap. 6 retoma o tratamento das vias mais importantes das cidades, “as que levam ao templo, basílica ou ao espetáculo” (VIII, 6, 1) e de construções que se associam à sua *própria natureza*: portas, arcos de triunfo, pontes, praças, fóruns. Os caps. 7 e 8 são dedicados aos edifícios de espetáculos – “uns têm a finalidade da cultura, outros a utilidade”. No primeiro, é tratada em profundidade a origem destes edifícios na Antiguidade, bem como a organização espacial e ornamento dos teatros, no segundo, circo e os anfiteatros. O cap. 9 descreve a cúria sacerdotal e senatorial, divergem entre si nas proporções da sua área (1:1 e 2:3) bem como na cobertura, a primeira é em abóbada e a segundo em travejamento. O cap. 10 é dedicado às termas, que Alberti refere tratarem-se de edifícios que misturam o carácter público e profano (VIII, 10, 2). A descrição destes edifícios é mais próxima da organização espacial, dado o grau de complexidade funcional e a dimensão, remetendo o delineamento e ornamento para aquilo que já havia sido referido no âmbito dos outros edifícios.

12; VII, 10-11); princípios para o delineamento de aberturas (VII, 10 e 12); a dimensão edificatória dos números Albertianos (IX, 5 e 6).

### 3.1.4.1. *Área e compartimentação ou composição espacial*

Alberti advoga que o ornamento dos templos deve manifestar a sua origem e propósito, traduzindo-se numa beleza consonante com a dimensão e magnanimidade da cidade em que se situa (VII, 3, 3).<sup>52</sup> No mesmo âmbito, observa que na Antiguidade, a especificidade do culto e práticas religiosas das múltiplas divindades manifestava-se na diversidade da forma, composição, dimensão e localização dos templos<sup>53</sup>, bem como a adequação da espacialidade das basílicas a rituais religiosos, conforme prática do período da Antiguidade<sup>54</sup>, nomeadamente, pela sua capacidade de acolher eventos onde participam um grande número de pessoas.<sup>55</sup>

“Por seu lado, os nossos antepassados serviram-se muitas vezes das basílicas para uso sacrificial. E isso, não só porque a princípio era costume serem convocados e reunirem-se nas basílicas dos assuntos privados, mas também porque nelas estava colocado, com a maior imponência, um altar diante da tribuna e à volta dos altares dispunha-se um coro com grande beleza; o resto da basílica, como a nave e o pórtico, estava aberto ao povo que passava ou assistia ao sacrifício. A isso acrescia que a voz do pontífice que falava ao povo ouvia-se melhor numa basílica com tecto de madeira, do que num templo em abóbada. (...)” (VII, 3, 8)

“As partes de um templo são o pórtico e a cela interior (...)” (VII, 4, 1)

A verificação das semelhanças entre a composição espacial das basílicas, conforme descritas por Alberti (VII, 3, 8) e a composição espacial dos templos, conforme formulada por Alberti no Livro VII, é iniciada pela bipartição dos templos em pórtico e cela<sup>56</sup> (VII, 4, 1). Esta segmentação inicial, ainda que sujeita a variações da geometria base da cela (tendo em vista a diversidade dos templos) e da

---

<sup>52</sup> A este propósito Alberti afirma o seguinte:

“Em toda a arte edificatória nada há em que seja necessário maior engenho, cuidado, empenho, diligência, do que na construção e ornamentação de um templo. (...) o maior e principal ornamento de uma cidade.” (VII, 3, 1)

“(…) gosto dos templos que, em proporção com o tamanho da cidade, não seja preciso serem maiores (...)” (VII, 3, 3)

<sup>53</sup> A respeito da localização, os templos dedicados aos deuses que “presidem à paz, ao pudor e, às artes liberais” deveriam localizar-se dentro das muralhas, templos como os dedicados ao amor, à guerra e ao fogo deveria situar-se fora da cidade, e ainda, os ....

<sup>54</sup> Um dos exemplos remete para a descrição que Vitruvius faz do templo dedicado a Júpiter (I, 2, 5), que se caracterizava por não ter teto, para que o “deus faz germinar as sementes de todas as coisas.” (VII, 3, 5)

<sup>55</sup> No Livro VII, Alberti retoma a questão de associação da tipologia das Basílica judiciais à espacialidade dos templos. Desta feita, o argumento de Alberti inicia-se na constatação de que nos templos celebram-se ações de graça e de adoração a divindades, do mesmo modo que nos tribunais, onde se aplica a justiça: “(...) e a própria justiça quem não estará de acordo que é por si mesma um dom divino?” (VII, 1, 5).

A este propósito Krüger (2011, p.429, n.1173) refere que: “Se bem que, para Alberti (Livro VII, cap.14), a basílica cristã se associe aos (...) ornamentos que são devidos aos templos, a sua conformação assumirá a forma das basílicas judiciais pagãs, dado que estas respondem às necessidades de acolher grandes multidões (Livro VII, cap. 3).”

<sup>56</sup> Ver Krüger (2011, p.439, n.1232) sobre a relevância das basílicas na definição espacial dos templos.

disposição do pórtico, é determinante na sistematização das suas partes e subsequentes subpartes (Figura 20).

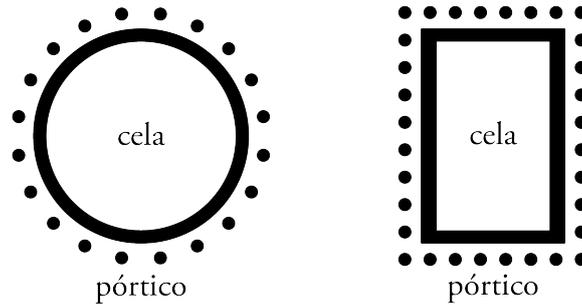


Figura 20. Plantas diagramáticas das partes constituintes dos templos. Geometria base circular e retangular.

### *Cela*

No cap.4 do Livro VII é iniciada a descrição da geometria, proporções e compartimentação dos templos e, por este motivo, trata-se da parte do tratado mais relevante à inferência de regras da composição geral dos templos. A propósito da geometria e proporções da cela de templos retangulares, Alberti escreve o seguinte:

“(...) Em quase todos os templos quadrangulares, os Antigos tiveram em vista produzir uma área tal que o comprimento fosse uma vez e meia a sua largura; outros construíram-na tal que a largura fosse superada em um terço pelo comprimento; outros quiseram que o comprimento tivesse o dobro da largura.” (VII, 4, 2)

Importa clarificar que adoptamos o termo “cela” para nos referirmos ao espaço interno dos templos, sem considerar os espaços relativos às capelas, isto é, o espaço correspondente à nave das igrejas. Entendemos que no âmbito da definição do espaço interno dos templos, Alberti recorre ao termo “área” para designar o espaço da cela, dando-lhe uma conotação planimétrica. Posto isto, o termo “área” adopta um significado diferente do que lhe havia sido atribuído para nomear uma das partes dos descritores da edificatória. E que nesse contexto é relativo a toda a área de construída dos edifícios. O que no caso dos templos incluiria a área da cela, das capelas, do pórtico e respetivas paredes.

### *Capelas*

Do mesmo modo que existe uma multiplicidade de configurações para o delineamento da cela, dentro de determinadas restrições, o delineamento das capelas varia pela sua localização (VII, 4, 4), número (VII, 4, 4), geometria (VII, 4, 5) e dimensão (VII, 4, 6).

A localização das capelas determina a sua segmentação em dois tipos de capelas, a que se situa a eixo da entrada do templo, e é apenas uma, e as outras, as que se acomodam lateralmente, ao longo do comprimento da cela. Acerca da primeira, Krüger (2011, pp. 440, n.1233) sugere que Alberti relaciona-a com a tribuna ou capela das basílicas judiciais e não dos templos pagãos, consistindo numa plataforma semicircular sobrelevada reservada aos magistrados, parte constituinte das

antigas igrejas de Roma.<sup>57</sup> Com o intuito de facilitar a distinção destes espaços, utilizaremos o termo tribuna, ou capela-mor,<sup>58</sup> para nos referirmos à capela situada a eixo da entrada dos templos.

Alberti postula a possibilidade de ambos os tipos de capelas circunscreverem-se a formas retangulares ou semicirculares, bem como, à existência de relações de dependência entre a capela-mor e a dimensão, geometria e número das capelas laterais, tema que aprofundaremos mais adiante.

Alberti propõem duas possibilidades para o dimensionamento da abertura da capela-mor, ambas calculadas a partir da largura do templo: a mais ampla na proporção de 2:3 e a menor na proporção de 1:2. No caso da existência de capelas laterais<sup>59</sup>, a dimensão<sup>60</sup> das suas aberturas é dependente da dimensão da abertura da capela-mor, podendo também adoptar duas razões: 1:1; 11:12 (VII, 4, 6a).

Após definir as dimensões das aberturas, Alberti dá especificações para o dimensionamento da profundidade da capela-mor e capelas laterais: a profundidade da capela-mor deve igualar a sua largura<sup>61</sup>, enquanto a profundidade das capelas laterais de corresponder a metade da abertura (VII, 4, 6b).

As descrições para o delineamento base do espaço interior dos templos encerram com as condições para o dimensionamento da largura das paredes que separam as aberturas de capelas laterais contíguas, isto é, da *ossatura*.<sup>62</sup> De novo, o dimensionamento da *ossatura* depende de uma dimensão previamente inferida, neste caso, da abertura das capelas laterais (VII, 4, 7). A relação de dependência destas duas medidas é retratada no subcapítulo 3.2.3.1. *Composição interna do edifício*, no âmbito da descrição das regras de forma para a derivação das aberturas das capelas laterais.

### *Sumário*

Em síntese, o cap. 4 do Livro VII sistematiza o conhecimento edificatório para o delineamento do espaço interno dos templos, designadamente pela descrição de condições para a definição: da geometria e proporções base da cela, isto é, a sua delimitação; geometria, proporções e posicionamento da capela-mor e capelas laterais, isto é, a delimitação e colocação destes espaços.

A relação destes espaços com os descritores da edificatória é direta, tratando-se de descrições relativas à definição da área e compartimentação. Contudo, para total definição das áreas dos templos falta a introdução das paredes e pórticos (aberturas).

---

<sup>57</sup> A Basílica de Maxêncio apresenta uma tribuna semicircular.

<sup>58</sup> Conforme utilizado na literatura portuguesa. “Capela-mor – Recinto principal do templo, onde se encontra o altar-mor.” e “Capela axial – Capela no eixo principal da igreja; capela-mor.” (Silva & Calado, 2005, p. 77)

<sup>59</sup> Alberti sugere a possibilidade da existência de apenas uma capela, isto é, a tribuna. (VII, 4,5)

<sup>60</sup> A abertura é a mesma para todas as capelas laterais. Dado o eixo longitudinal do templo estabelecer o eixo de simetria do corpo do templo, o axioma corpo-edifício obriga a que as capelas laterais situadas frente a frente tenham aberturas com a mesma dimensão, bem como, as aberturas de todas as capelas laterais, para que haja nenhum tramo do templo que se valorize em relação aos restantes.

<sup>61</sup> Verifica-se que a proporção quadrada da tribuna (na razão de 1:1 da abertura e profundidade) impossibilita inscrever uma tribuna com geometria semicircular, conforme Alberti havia descrito momentos antes. Perante esta incongruência, parece-nos razoável considerar que Alberti se esqueceu da possibilidade de adotar a geometria semicircular para a tribuna. Esta opção justifica-se no facto de um dos modelos maiores da edificatória da Antiguidade, a basílica de *Maxentius*, deter uma tribuna semicircular.

<sup>62</sup> O termo “*ossatura*” é utilizado por Alberti em diversos momentos do tratado, designadamente como referência aos elementos estruturais que caracterizam a analogia corpo-edifício. Este tema é desenvolvido no subcapítulo 4.2.3.1. *Composição interna do edifício*.

### 3.1.4.2. *Pórtico*

“Por sua natureza o pórtico consta de um muro inteiro e contínuo; nos restantes lados é aberto e dá passagem através de aberturas patenteadas.(...)” (VII, 5, 6)

Dada esta definição, o pórtico detém propriedades do âmbito das paredes e aberturas. As descrições relativas às aberturas<sup>63</sup> iniciam-se pela caracterização do(s) pórtico(s).<sup>64</sup> O cap.5 do Livro VII é maioritariamente dedicado ao conhecimento edificatório do pórtico.<sup>65</sup> Esta tarefa é executada pela definição da sua localização (VII, 5,1) e dimensão (VII, 5,2-4), relacionando-as com o dimensionamento e número de intercolúnios, que por sua vez associam-se ao número e proporção das colunas (VII, 5,6-8).

#### *Pórtico: localização e dimensão global*

No âmbito dos templos de planta retangular, Alberti considera a possibilidade de existência de pórticos adjacentes a todas as fachadas da cela:

“na frontaria, ou igualmente na frontaria e no tardo, ou apoiará a cela em seu redor” (VII, 5, 1),

desde que não existam capelas salientes. A esta descrição é ainda implícita a condição de presença do pórtico da frontaria para a colocação de pórticos nas restantes fachadas.

Segue-se o dimensionamento do pórtico (em planta). Dependente do delineamento do espaço interno e paredes, o pórtico igualam-no em largura, ou excedem-no na razão de um intercolúnio. A este respeito, e excepcionalmente, Alberti estabelece um limite máximo para a profundidade do pórtico da frontaria, que corresponde a um terço do comprimento do templo (VII, 5, 2).<sup>66</sup>

#### *Pórtico: Intercolúnio*

A dimensão e número de intercolúnios, associados ao diâmetro dos fustes (ou pilastras), determinam a dimensão planimétrica do pórtico. Com efeito, Alberti considera possíveis cinco relações proporcionais entre a dimensão da abertura, ou seja, o intercolúnio, e o diâmetro da coluna, traduzindo-se

---

<sup>63</sup> As aberturas são introduzidas no início do tratado (I, 12) e complementado no cap.12 do Livro VI. Se na primeira parte do tratado relaciona-se mais com vãos rasgados nas paredes, num segundo momento, o do ornamento. Alberti descreve os componentes básicos para a constituição dos pórticos, designadamente a coluna e o entablamento.

<sup>64</sup> “Por sua natureza o pórtico consta de um muro inteiro e contínuo; nos restantes lados é aberto e dá passagem através de aberturas patenteadas. (...)” (VII, 5, 6)

<sup>65</sup> Alberti dedica um parágrafo do cap.5 (VII, 5, 5) à descrição do pódio. Nomeadamente, às razões e dimensões para a construção de um pódio sob a área do templo e pórtico, sobrelevando-os em relação à sua envolvente:

“Na minha opinião, a área do pórtico e de todo o templo, uma vez que isso contribui grandemente para a sua imponência, deve ser sobrelevada e sobressair do restante nível da cidade.(...) Verifico que a maioria dos melhores arquitetos da Antiguidade estabeleceu assim a altura deste pódio a partir da largura do templo. Na verdade, dividiram a largura em seis partes e atribuíram uma parte à altura do pódio. Houve também alguns que quiseram que a esse pódio fosse atribuída a sétima parte da largura nos templos maiores e a nona parte nos templos muito grandes.” (VII, 5, 5)

<sup>66</sup> Entre o parágrafo 3 e 5 trata de pórticos em templos circulares, escadas e pódio. Não nos interessa referir porque devemos focar-nos nos templos retangulares.

em cinco intervalos diferentes: ampliado, compacto, elegante, subampliado e subcompacto (VII, 5, 6-8).<sup>67</sup>

Alberti prevê uma exceção para o intercolúnio central do pórtico da frontaria, que aconselha a que seja mais largo que os restantes (VII, 5, 8-9), tal como havia sido descrito por Vitruvius no *De architectura* (III, 3, 1-13). Finalmente, Alberti estabelece uma condição relativa ao número de intercolúnios, que devem ser em número ímpar e limitados por um número par de colunas.

### Sumário

Importa referir que as descrições efetuadas no âmbito do(s) pórtico(s), no cap. 5 do Livro VII, no que concerne às colunas, não consideram variações das suas dimensões resultantes da aplicação de diferentes sistemas de colunas, introduzidas no capítulo seguinte. Ou seja trata-se de um sistema de pórtico “sem sistema de colunas”.

A sequência temática do tratado sugere uma leitura aditiva de informações, iniciada pelo todo para posterior tratamento das partes constituintes. No contexto do(s) pórtico(s), o conhecimento relativo aos sistemas de colunas ainda não foi descrito, impedindo que através da leitura linear do tratado, o leitor cruze o conhecimento relativo ao sistema de colunas (de carácter combinatório, e que define a geração das colunas e entablamento), com o desenvolvimento da planimetria e a altimetria do pórtico.

Este facto introduz uma problemática relativamente ao delineamento planimétrico dos pórticos, a dependência da dimensão do diâmetro das colunas do próprio sistema de ornamento que utiliza, e as repercussões que isso tem ao nível da sua altimetria.

O sistema de colunas adoptado para a geração do pórtico, em conjunto com o número de colunas, o intervalo do intercolúnio e a dimensão global do pórtico, perfazem o conjunto de variáveis necessárias à derivação do pórtico.

Caso a dimensão global do edifício esteja condicionada ao pórtico, estas variáveis constituem a informação da “regra zero”. Isto é, tomando o pórtico da frontaria como exemplo, se a decisão da largura do templo é condicionada pela dimensão do pórtico, considerando a existência da definição prévia do sistema de colunas — do número de colunas e a proporção do seu intervalo, a totalidade das dimensões do templo estão condicionadas aos elementos do pórtico. Mas, se considerarmos que o processo de geração se inicia pela definição da largura do espaço interior da cela, na sua dimensão absoluta, então, a variável inicial será a largura do templo. Neste caso, as variáveis a ter em consideração são o contexto e representatividade do templo.

---

<sup>67</sup> Inicialmente, Alberti considera apenas três géneros de intercolúnios (mais denso, menos denso e intermédio), e após descrever vantagens e desvantagens destes intervalos (VII, 5, 6), acrescenta-lhes mais dois géneros, o subampliado e subcompacto. Estes cinco intervalos correspondem aos intercolúnios descritos por Vitruvius (III, 3, 1-13): *areostilo* ( $h=8 d$ ;  $L$  não é especificado), *picnostilo* ( $h=10 d$ ;  $L=1 \frac{1}{2} d$ ), *eustilo* ( $h=9 \frac{1}{2} d$ ;  $L=2 \sqrt{4} d$ ), *diastilo* ( $h=8 \frac{1}{2} d$ ;  $L=3 d$ ) e *sistilo* ( $h=9 \frac{1}{2} d$ ;  $L=2 d$ ), onde  $h$  representa a altura das colunas e  $L$  o intercolúnio, medidos em função do diâmetro das colunas. Krüger (2011, p. 445, n. 1239).

### 3.1.4.3 .Sistematização da coluna

No contexto desta tese, interessa compreender o dimensionamento, número e forma das partes do sistema de coluna e o modo como dependem e condicionam a configuração do pórtico e, subsequentemente, o delineamento do próprio edifício. Por este motivo, focamo-nos na informação necessária à compreensão da dependência das partes do pórtico com o próprio edifício. Referimos “informação necessária”, porque esta investigação não aprofunda o estudo das partes constituintes do sistema de colunas. Nesse âmbito, consultamos os trabalhos de Mário Krüger (2014), Eduardo Castro e Costa (2012) e Pedro Filipe Coutinho (2014), investigadores do projeto *Alberti Digital*, cujos livros, teses de dissertação de Mestrado e Doutoramento, respetivamente, incluem estudos relativos à sistematização da coluna albertiana.

#### *Pórtico em arquitrave*

“As partes dos sistemas de colunas são: o pedestal e sobre ele a base, sobre a base a coluna, depois o capitel, a seguir a arquitrave, sobre a arquitrave as traves ou o friso (...); no lugar mais alto fica a cornija.” (VII, 6, 2)

Alberti inicia a sistematização da coluna (VII, 6 a 10) pela diferenciação da configuração das partes dos sistemas de colunas a empregar nos diferentes edifícios notáveis:

“(…) Os arcos e os pilares são obrigatórios nos teatros, e nas basílicas também não se desprezam os arcos; mas nas construções mais imponentes dos templos, em parte alguma se vêem a não ser pórticos de arquitrave. (...)” (VII, 6, 1)

O *corpus* analítico do nosso trabalho enquadra-se nas descrições para a edificação de templos, conforme o excerto do tratado transcrito imediatamente acima, devemos atentar em específico aos pórticos de arquitrave<sup>68</sup>. Neste contexto, importa lembrar que no Livro IV, Alberti havia referido que no “sistema de colunas com arcadas devem usar-se colunas quadrangulares” (IV, 15, 1), isto é, pilastras, reservando a utilização de colunas de secção circular a sistema de colunas em arquitrave. Interessa ainda reter que Alberti considera que o arco é uma arquitrave encurvada atribuindo “aos arcos os mesmos ornamentos que se usarem nas arquitraves” (IV, 15, 3).

Em síntese, a informação necessária ao delineamento e dimensionamento das partes da coluna, é similar para configurações em que Alberti aconselha a utilização de pilastras, específicas para o suporte de arquitraves e colunas, específicas à sustentação de arcos. A variação verifica-se na geometria da base, fuste e capitel, em que as pilastras adoptam formas quadradas ou retangulares (se encastradas) e, na coluna adoptam formas circulares ou semicirculares, respetivamente.

Porém, se observarmos dois dos exemplos arquitetónicos mais paradigmáticos para o nosso estudo, nomeadamente as igrejas de Sant’Andrea e São Vicente de Fora (Capítulos 4 e 5), verifica-se que os seus pórticos do frontispício e pórticos internos (que marcam a abertura da nave para as ca-

---

<sup>68</sup> Ainda que Alberti descreva os arcos como traves curvas (cf. Livro III, caps. 6 e 13; Livro VII, cap. 15) atribui a sua aplicação a situações específicas.

pelas laterais) são pórticos de arquitrave compostos por pilastras em vez de colunas. Ou seja, adotam uma configuração contrária à aconselhada no *De re aedificatoria*.

A evidência da contradição entre o postulado no tratado e a sua obra construída pode-se justificar como uma transformação da opinião, tendo em vista a melhor adequação da aplicação do sistema. Em síntese e, a este propósito, no livro *Architectural Principles in the Age of Humanism*, Wittkower (1962, p. 36) refere que no cânone albertiano:

“The pilaster is the logical transformation of the column for the decoration of a Wall. It may be defined as a flattened column which has lost its three-dimensional and tactile value.” (Wittkower, 1962, p. 36)

#### *As partes do sistema de colunas*

A sistematização da coluna compreende um processo de hierarquização das suas partes (Castro e Costa, 2012, p. 47), segmentando-as e, dependendo do carácter de cada uma delas, subsegmentando-as sucessivamente em partes mais pequenas. Inicialmente, por uma ordem ascendente ao nível da disposição, o sistema de coluna divide-se no pedestal, base, coluna<sup>69</sup>, capitel, arquitrave, trave ou friso e a cornija (VII, 6, 2). Castro e Costa (2012, p. 48), desconsidera o pedestal, por observar que não se trata de uma parte não essencial ao sistema, e por isso, muitas vezes suprimido, em que a base assenta diretamente sobre o plinto.

A esta investigação é fundamental inferir as dimensões globais do sistema de colunas, de modo, a permitir a definição de regras para a geração do pórtico. Por este motivo, não nos interessa aprofundar o conhecimento relativo aos pormenores do ornamento de cada uma das partes do sistema. Inclusive, as dimensões globais destes elementos não são dependentes da especificidade do pormenor das mesmas partes. No entanto, toma-se em consideração a investigação de outros autores<sup>70</sup>, integrando a síntese desse conhecimento nas regras de geração do pórtico. Em suma, interessa-nos mapear aquilo que poderemos chamar de uma proto-coluna.

Importa referir que a terminologia adotada para designar as partes do sistema de colunas difere da utilizada por Alberti. Nomeadamente, utilizamos o termo “fuste”, referente à parte do sistema da coluna situado entre a base e o capitel (Pevsner, Fleming, & Honour, 1980, p. 253), o qual não faz parte do léxico do *De re aedificatoria*. Alberti emprega o termo “coluna” para nomear esta parte do sistema. Alberti, também utiliza “coluna” para designar o sistema da coluna composto pelas suas sete partes. No contexto da arquitetura Clássica o termo “coluna” designa o conjunto das partes base, fuste e capitel (Pevsner, Fleming, & Honour, 1980, p. 151). De modo a favorecer a clarividência do nosso texto, decidimos empregar os termos utilizados na literatura atual. Isto é, “fuste” e “coluna”, em que o último significa o conjunto base, fuste e capitel.

---

<sup>69</sup> Alberti utiliza o termo coluna para se referir ao fuste.

<sup>70</sup> A inferência do conhecimento relativo ao delineamento das bases e capitéis é feito em pormenor noutro lugar (Castro e Costa, 2012; Coutinho, 2014) tendo em vista, tal como nós, ao estudo da influência de Alberti na arquitetura da renascença portuguesa.

Na literatura relativa à arquitetura Clássica, o termo “entablamento” nomeia o conjunto das três partes superiores do sistema de coluna albertiano, isto é, o conjunto da arquitrave, friso e cornija (Pevsner, Fleming, & Honour, 1980, p. 190). Ainda que este termo não faça parte do léxico do *De re aedificatoria*, opta-se pelo seu uso, dada a síntese que estabelece das partes constituintes do sistema de colunas, do mesmo modo que a síntese inerente à coluna, significado do conjunto das partes, é mais operativa ao nosso propósito. As partes constituintes do entablamento já foram devidamente estudadas e sistematizadas por outros autores (Castro e Costa, 2012; Coutinho, 2014), não sendo pertinente que a nossa investigação se foque em detalhe nas mesmas. Com efeito, interessa-nos sintetizar a geometria base e dimensões do entablamento adopta no sistema, como um todo, ou seja, como um proto-entablamento.

Esta redução da informação relativa às partes do entablamento e da coluna justifica-se ainda na dificuldade de inclusão, e ilustração, da informação do pormenor à escala do edifício como um todo, nomeadamente, em representações gráficas que se focam no delineamento da totalidade do edifício – definição da área e sua compartimentação — e em simultâneo, fornecer informação cujo grau de detalhe corresponde a uma outra escala.

#### *Coluna (fuste, base e capitel)*

De entre as partes do sistema de coluna, Alberti anuncia que os capiteis são os que contêm maiores variações (VII, 6, 3), razão para os descrever em primeiro lugar<sup>71</sup>. Aos capitéis dórico, jónico e coríntio, acrescenta um quarto género, que chama de itálico, também conhecido por compósito, pelo qual mostra preferência de utilização (VII, 6, 3-4) e que utiliza no pórtico da fachada do Templo Malatestiano, em Rimini.

Observe-se que Alberti não diferencia o delineamento do fuste nos diferentes géneros de colunas<sup>72</sup>, mas estabelece correspondências estas e a altura do fuste, calculada a partir da dimensão do seu diâmetro inferior, parte que se designa de imoscapo (Silva & Calado, 2005, p. 201). Com efeito, indica que “para a elegância da obra”, ao capitel dórico deve corresponder um fuste com uma altura igual a sete vezes o imoscapo, nove para os capitéis jónicos e oito para os capitéis coríntios oito (VII, 6, 5).<sup>73</sup>

No Livro IX, Alberti descreve uma série de proporções com origem no “sentido da natureza”, e recorrendo às mediedades aritméticas propõe a sua utilização para o dimensionamento dos fustes a partir do diâmetro do imoscapo. Especificando que ao comprimento do fuste dórico deve-se atribuir nove partes do diâmetro do imoscapo, oito partes ao jónico e nove partes ao coríntio (IX, 7, 3). Neste contexto, Alberti não estabelece prioridades na utilização destas descrições, relativamente

---

<sup>71</sup> Ainda que Alberti inicie a descrição do sistema de colunas pelo capitel, o que se justifica pela dependência que estabelece entre o género de capitel e a proporção do fuste. Descrições pormenorizadas dos diferentes géneros de capiteis, tal como as suas dimensões totais e parciais é feita no Livro VII, cap.8, após a descrição do fuste e base.

<sup>72</sup> Conforme descrito no cap.13 do Livro VI.

<sup>73</sup> Todos os fustes deveriam ser mais delgados na parte superior (sumoscapo) do que na parte inferior junto da base (imoscapo). Os parágrafos finais do capítulo 6 são dedicados à descrição de variações nos diâmetros do fuste. Estas variações, que segundo Alberti seriam consensuais entre o Antigos, têm o objetivo de introduzir correções ópticas que se traduziram na perceção de adelgaçamento de fustes mais robustos e no engrossar de fustes mais delgados.

às postuladas no Livro VII. Por este motivo, na inferência de condições para o dimensionamento do fuste, consideramos o conjunto de proporções inferidos nos Livros VII e IX.

Se nos diferentes géneros de colunas os fustes convergem no delineamento e divergem no seu dimensionamento, as bases que os sustentam, divergem no delineamento, mas, convergem na dimensão. (VII, 7, 2-8) Para a altura da base propõe que se tome metade do imoscapo, ao longo da qual distribui as suas diferentes partes — plinto, toros e escócia(s)<sup>74</sup>. Alberti distingue a composição das bases dórica e jónica, porquanto os “Coríntios aprovaram a base jónica e igualmente a dórica, usando ora uma ora outra” (VII, 7, 8).

Como anunciado e proposto por Alberti, é nos capiteis que se verifica uma maior diversidade. As diferenças de ornamento resultam em capiteis com alturas muito distintas entre si: para o capitel dórico propõem uma altura igual à altura da base (VII, 8, 1); para o capitel jónico uma altura igual ao raio do imoscapo (VII, 8, 4); para o capitel coríntio uma altura igual ao diâmetro do imoscapo (VII, 8, 7); finalmente, o capitel itálico, ou compósito, resulta de cruzamento de ornamentos usados nos outros géneros, devendo a sua dimensão ao capitel coríntio (VII, 8, 10).

#### *Pedestal*

É no Livro VIII que Alberti faz referência à possibilidade de colocação de pedestais sob as colunas. Com o objetivo de “ter passagens mais livres” (VIII, 3, 11), os pedestais são descritos como muretes, que resultam da subtração das restantes partes do muro. Esta descrição não determina, algoritmicamente em que situações se deve colocar o pedestal, pelo que, será da responsabilidade do projetista aferir se as colunas e pórtico detêm uma passagem suficientemente livre ou não.

Os pedestais são constituídos por um dado, ornamentado na parte superior por um cimácio e, na parte inferior por um soco. As dimensões do dado associam-se às dimensões da base da coluna, enquanto as dimensões dos ornamentos inferem-se das dimensões do dado.

Tal como na coluna, interessa-nos reter as dimensões globais do pedestal, no sentido de inferirmos as dimensões e geometria de um proto-pedestal. Esse processo de inferência é descrito em pormenor mais adiante, no subcapítulo 3.2.3.5. *Adição do Pórtico* onde se descreve o processo de inferência e a regra da forma para adição do pedestal.

#### *Entablamento (Arquitrave, Trave, Friso e Cornija)*

Como referido, o sistema de colunas para a composição de pórticos arquivados são constituídos por colunas – base, fuste e capitel – que sustentam o entablamento (VII, 9, 1-9), o qual é constituído pela arquitrave, trave ou friso, e cornija. Para o dimensionamento e definição da forma destas partes e suas subpartes, Alberti estabelece que a largura, ou profundidade, da arquitrave, calcula-se pelo diâmetro do sumoscapo<sup>75</sup> (VII, 9, 1). E deste modo obtemos a largura da parte inferior do entablamento. De seguida, para o cálculo da altura das partes e subpartes propõe a divisão em mó-

---

<sup>74</sup> Alberti (VII, 7, 2) descreve estas partes do seguinte modo: “(...) O plinto é uma parte quadrangular colocada na extremidade inferior(...). Os toros são os colarinhos grossos da base, um dos quais sustenta a coluna, e o outro assenta no plinto. A Escócia é uma reentrância, a toda a volta, que é comprimida entre os toros como numa roldana.”

<sup>75</sup> “Sumoscapo - Extremidade superior da coluna.” (Silva & Calado, 2005, p. 339).

dulos da totalidade da altura do entablamento, estabelecendo fracções desta medida para o cálculo da altura de cada uma das suas partes e subpartes. A inferência da dimensão destes módulos é feita pelo estabelecimento de uma relação proporcional entre a espessura da arquitrave e o raio do imoscapo. O entablamento dórico (VII, 9, 1-8) e jónico (VII, 9, 12) variam no seu ornamento, isto é, nas (sub)partes que os compõem, bem como, no número de módulos em que se dividem e no fracionamento pelas partes constituintes. Finalmente, o entablamento coríntio deve seguir as descrições do entablamento jónico (VII, 9, 13).

Mais uma vez, no contexto da nossa investigação, importa sobretudo reter as variações das dimensões do entablamento no seu todo e enquadrado na geração do pórtico, e como referimos anteriormente o estudo mais aprofundado do sistema de composição destes elementos foi escrutinado por outros autores (Morolli & Guzzon, 1994; Coutinho, 2014).

Até aqui Alberti retratou sistema de colunas arquivadas, relativas ao conteúdo do capítulo os sistemas de arcadas, Alberti remete-os para os momentos em que trata da Basílica.

#### *Frontão*

Finalmente, o pórtico de frontispício dos templos greco-romanos caracteriza-se por suportar um frontão, introduzindo monumentalidade e ocultando parte ou a totalidade da cobertura. Para o seu delineamento Alberti considera que a sua largura deverá ser igual à largura da cornija do pórtico e a altura da cumeeira obtida a partir da medida da sua largura, numa razão que se deve encontrar no intervalo de um quarto e um quinto dessa dimensão (VII, 11, 5).

#### *Intercolúnio: Proporções prescritivas do sistema de colunas*

No último parágrafo do cap. 9 do Livro VII, Alberti introduz um conjunto de regras para a modulação do intercolúnio dórico e jónico, estabelecendo uma relação direta entre o número de colunas do pórtico e o intercolúnio. Segundo Alberti, estas regras têm o objetivo de facilitar “o trabalho do artista ao dispor as colunas numa obra”(VII, 9, 18). A este propósito, Krüger (2011, p. 471) refere que esta “modulação dos intercolúnios prescreve a dimensão local dos elementos arquitetónicos de menores dimensões”. Com efeito, a consideração destas regras sobrepõe-se a outras, em que são especificadas relações de dependência entre o género do sistema de coluna e as suas partes. Sublinha-se ainda que Alberti não faz qualquer referência ao género coríntio.

Morolli e Guzzon (1994, pp. 81-94) comparam as diferentes proporções dos sistemas de colunas. Esta síntese auxilia à implementação destes sistemas enquanto regras de forma. Algumas das suas propriedades funcionam como uma espécie de meta-regras para a definição dos seus componentes, as proporções e determinados elementos de ornamentação são específicos e recorrem à sistemas de modulação para o dimensionamento parcial e global da coluna .

#### *Sumário*

Um dos aspetos mais originais do *De re aedificatoria* é o estabelecimento de um pensamento combinatório para o desenvolvimento do sistema de colunas. Ao contrário do que sucede nos tratados

de Vitruvius (2009) e Serlio (1990)<sup>76</sup>, a natureza combinatória do sistema de coluna de Alberti prevê a possibilidade das suas partes pertencerem a diferentes ordens estilísticas. De modo a tornar mais operativa a inferência de regras de geração das partes do pórtico de arquitrave, decidimos agrupar as subpartes de cada uma das partes do sistema de colunas, isto é, o desenvolvimento de regras para a geração de proto-colunas, proto-pedestais, proto-entablamentos e proto-frontão, cujas variações dimensionais refletem o poder combinatório do sistema de colunas.

#### 3.1.4.4. Paredes e Cobertura

Neste subcapítulo são identificadas as descrições relativas ao dimensionamento e delineamento das paredes, coberturas, aspetos específicos ao ornamento das paredes e, finalmente ao pódio.

##### *Espessura das Paredes: Colunas vs. Área*

Das instruções do *De re aedificatoria* para o cálculo da espessura das paredes dos templos, interessa referir e comparar os dois métodos apresentados. O primeiro estabelece uma relação direta entre a espessura das paredes e a proporção das colunas. No segundo é estabelecido um *ratio* entre a espessura da parede e a largura do espaço interno do templo, ao qual Alberti refere-se como área (VII, 10, 3).

De entre os dois métodos, o segundo parece mais imediato, uma vez que o primeiro método depende de todas as variáveis e parâmetros que consideram a geração das colunas.<sup>77</sup> Acresce que no caso do delineamento do templo iniciar-se pela definição da área, sugere-se mais apropriada que a espessura das paredes seja concordante com esta dimensão. Por outro lado, os pórticos, e respetivas colunas, podem ser adossados às paredes, pelo que o estabelecimento de relações de dependência entre estes elementos pode fazer sentido.<sup>78</sup>

Outra questão que não é clarificada por Alberti no tratamento das paredes é a existência de diferentes espessuras para diferentes tipos de paredes. Ainda que advogue que as paredes devem ter a espessura necessária para a carga que suportam, não devendo ser excessivas em espessura, não introduz dados numéricos que nos permitam diferenciar a espessura de paredes limite da cela, das paredes que compartimentam diferentes espaços dos templos, nem as paredes que limitam as capelas, quer se tratem de paredes internas ou externas. Quando considerarmos a inferência de regras a partir de exemplos edificados voltaremos a este tema, uma vez que se encontram discordâncias e faltas de informação a respeito do mesmo.

---

<sup>76</sup> Ambos prevêem sistemas de colunas em que todos os elementos pertencem à mesma ordem estilística.

<sup>77</sup> A dependência da espessura das paredes do sistema de colunas obriga à definição prévia do sistema de ornamento, desempenhando um papel deveras importante logo no momento de delineamento do projeto. Essa possibilidade, teria ainda que ser combinada com a definição do número de colunas e o tipo de intercolúnio que compõem o pórtico. Em suma, trata-se de um processo que considera uma grande diversidade parâmetros, que pode condicionar a largura da cela, e a totalidade das suas dimensões.

<sup>78</sup> Toda esta argumentação não é linear, e poderá ser construída partir do elemento iniciático da geração de projeto. Ou numa combinação mais complexa, a partir de ambos.

Os dois métodos para o cálculo da espessura das paredes também se diferenciam pela progressão das partes que participam no processo generativo. Se trata-se de um modelo *top-down*, em que o processo generativo inicia-se num elemento global, desde o todo, a partir do qual desenvolvem-se partes mais pequenas, ou dependentes. Ou, se aplica um modelo *bottom-up*, em que a partir de um conjunto de elementos se desenvolverá o todo. De facto, Alberti não estabelece critérios para escolha de um género em detrimento de outros.

### *Altura das Paredes: Área e Cobertura*

Alberti examina diversas possibilidades para o cálculo da altura das paredes dos templos, nomeadamente, as paredes da cela. Inicialmente, pela observação de templos circulares, sugere seguir os Antigos, que determinavam a altura das paredes da nave, medida pelo interior até ao arranque da abóbada, a partir do diâmetro da área: alguns tomaram três quartos do seu diâmetro, a grande maioria dois terços, ninguém menos de metade, e os mais peritos um quarto do perímetro, dimensão que corresponde a onze catorze avos do seu diâmetro<sup>79</sup> (VII, 10, 4). Após descrever estas razões, Alberti diz que estas devem ser imitadas pela maioria dos templos retangulares com abóbadas, esta solução é a sua predileta para a construção das coberturas dos templos por se tratar de uma solução mais imponente e duradoura (VII, 11, 1). Finalmente, e relativamente a áreas retangulares com capelas laterais, dá preferência a paredes cuja altura é idêntica à largura da área (VII, 10, 5).

Mais adiante, no âmbito da análise do Livro IX, são inferidos sistemas proporcionais para o delineamento do volume global dos templos, pelo que essas dimensões também deverão ser consideradas nas regras de forma em que a altura das paredes é um dos parâmetros.

Dada a função das paredes de elemento de suporte da cobertura, e no contexto dos templos circulares, Alberti diferencia a altura das paredes no seu pano exterior, fazendo depender do tipo de cobertura que suportam. A este respeito, especifica que se a cobertura é construída em degraus de alvenaria as paredes se elevem até a um terço da altura da abóbada e no caso de ser construída por duas águas se eleve até metade da altura da abóbada (VII, 10, 5).<sup>80</sup> Alberti não é explícito na extensão destas recomendações para templos de planta retangular. Mas, uma vez que este parágrafo é a única referência que Alberti faz a esta questão e, dado tratar-se de uma solução construtiva que se ajusta aos edifícios retangulares, consideramos utilizar estas dimensões para as paredes destes edifícios.<sup>81</sup>

### *Ornamento das Paredes: aberturas falsas e aberturas das capelas*

A parte dedicada ao ornamento das aberturas (VI, 12), complementar à descrição efetuada no Livro I (I, 12), foca-se na descrição da sua composição geral, dos seus elementos de ornamento, designadamente, colunas e entablamento.

Neste contexto, Alberti diferencia dois tipos de aberturas, as que permitem a passagem e aberturas sem lugar a passagem, as quais nomeia de aberturas falsas. As aberturas falsas são caracterizadas do seguinte modo:

“(…) às vezes adossa-se uma parede a outra parede como se se juntasse uma pele a uma veste e simula-se uma espécie de abertura não para dar passagem mas obstruída pela pare-

---

<sup>79</sup> No *De re aedificatoria*, não surge descrita a relação 11/14, mas 11/4 (*undecim ad quattor*). Este *ratio* é estranho ao sistema proporcional sugerido por Alberti (Livro IX, cap.5). Esta situação possivelmente deve-se a um lapso na transcrição desta proporção a partir do manuscrito original.

<sup>80</sup> Refere ainda que em situações onde a parte interior da abóbada assenta na face superior da parede, convém que a face exterior da parede “se eleve até debaixo da goteira”.

<sup>81</sup> Morolli e Guzzon (1994, pp. 128-130) apresentam esquema da variação da altura das paredes para ambas as situações, inclusive desenvolvem axonometria com o sistema construtivo descrito por Alberti para a construção de uma abóbada de berço composta por caixotões quadrados de tijolo. Esta iniciativa sugere que estes autores concordariam que as dimensões descritas para Alberti para os templos circulares também se aplicariam a templos de planta retangular.

de oposta (...). Este tipo de ornamento, como a maior parte dos outros ornamentos, foi inventado primeiramente pelos carpinteiros para dar solidez ao edifício e diminuiu os custos; imitando essa técnica, os canteiros conferiram aos edifícios uma beleza notável.” (VI, 12, 2)

A Figura 21 ilustra os dois tipos de falsas aberturas descritas por Alberti: as adossadas e as independentes. As aberturas adossadas podem ser constituídas por colunas redondas ou retangulares, ou pilastras, e estão parcialmente encastradas nas paredes. Nas aberturas independentes, todo o corpo das colunas sai solta da parede e manifestamente pretende imitar um pórtico (VI, 12, 6).

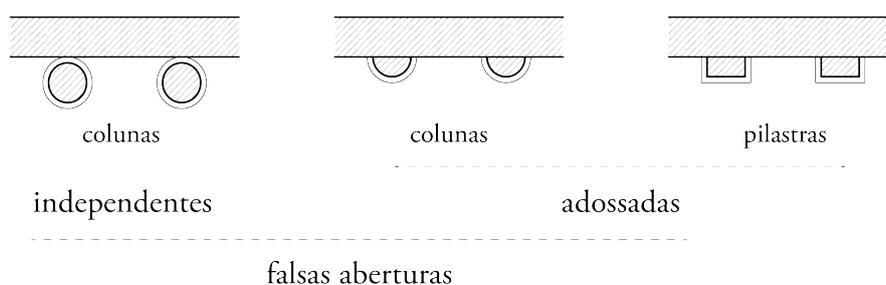


Figura 21. Plantas esquemáticas dos diferentes tipos de ornamento para conformação de falsas aberturas.

Na sequência de descrições relativas ao ornamento das paredes da cela (VII, 10, 6-11), Alberti descreve dois detalhes relativos à ligação entre a abóbada e as paredes. Num primeiro momento sugere:

“Adossam-se colunas às paredes e inserem-se entre as aberturas. Aqui a sua proporção não é a mesma que no pórtico. Notei que, nos templos muito grandes, porque as colunas não correspondiam a tamanha dimensão da obra, prolongaram as extremidades das abóbadas até que a flecha, nos seus arcos, excedesse a terça parte do raio; este expediente, além disso, contribuiu para a beleza da obra: um sistema de abóbada que se eleve para o alto é mais ágil, por assim dizer, e mais desenvolto.” (VII, 10, 12)

Neste parágrafo Alberti prescreve dois procedimentos: a colocação de colunas adossadas às paredes entre as aberturas das capelas; e no contexto de grandes templos, a extensão das extremidades da abóbada em um terço do seu raio. O primeiro procedimento é utilizado por Alberti em Sant’Andrea e, nomeadamente na forma de pilastras emparelhadas.

Curiosamente, o segundo procedimento, encontra-se formalizado nas ruínas da Basílica Constantina de Maxêncio (século IV).<sup>82</sup> Hoje, ainda são visíveis capitéis adossados aos paramentos interiores das paredes longitudinais, e situados entre as aberturas das capelas laterais, a uma altura que inferior à altura da parede ainda existente. Estes capitéis teriam a função de suportar os arcos da abóbada, que se estenderiam para além da sua flecha, numa dimensão próxima a um terço, sugerindo-

<sup>82</sup> Ver Richard Krautheimer, *Studies in early Christian, Medieval, and Renaissance art*, 1969. E sobre a influência da basílica na obra de Alberti ver: (Tavernor R. , 1998, pp. 176-178).

do uma configuração semelhante à descrita no tratado. As ilustrações de Seroux d'Agincourt (1823)<sup>83</sup> e Luigi Canina (1851) informam esta relação.

Mesmo que se considere válido o influxo da basílica de Maxêncio na obra de Alberti, existem dois aspetos contraditórios que importa assinalar. (1) A cobertura de Sant'Andrea é constituída por um único tramo, em que o sistema de caixotões é aplicado de modo contínuo a toda a nave, isto é, não existe qualquer viga na abóbada. (2) Por outro lado, desconhecem-se exemplos claros em que a abóbada se estenda pela adição de um tramo vertical reto que se prolongue até à cornija do entablamento do sistema de colunas adossada à parede.

Em suma, a adição de colunas e respetivos pórticos adossados às paredes da nave é uma característica facilmente verificável do ornamento albertiano, conforme descrito por Alberti, na composição das aberturas e pórticos, e construído em Sant'Andrea. A extensão da abóbada é uma regra que surge, em certa medida, desintegrada das restantes regras edificatórias desenvolvidas no *De re aedificatoria*, e em simultâneo, não é verificável na obra construída de Alberti. Por este motivo não consideraremos esta regra na GF<sub>A</sub>.

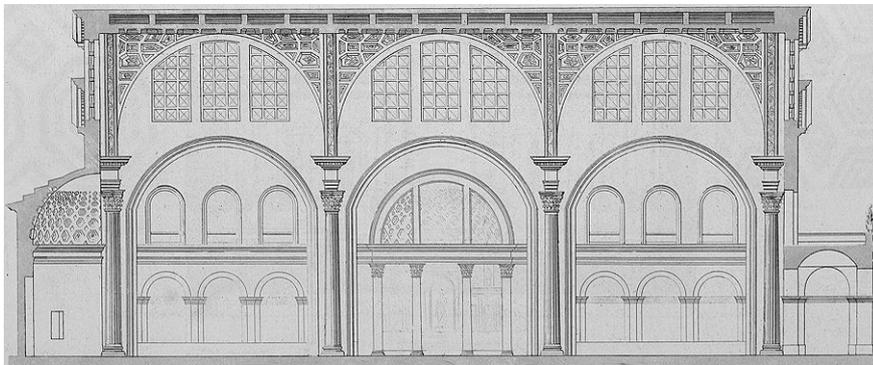


Figura 22. Corte longitudinal da Basílica de Maxêncio, Roma (Luigi Canina, *Gli Edifizi di Roma Antica*, séc. XIX). Fonte: <http://www.quondam.com/82/8221.htm>, consultado em 15 de Janeiro 2015.



Figura 23. Gravura de Piranesi da ruína da Basílica de Maxêncio, Roma, Séc. XVIII.<sup>84</sup> Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Piranesi-17018.jpg>, consultado em 15 de Janeiro 2015.

<sup>83</sup> Ver ilustrações de Seroux no portal: <http://www.quondam.com/03/0313.htm>.

### *Pódio*

Alberti considera que a área do templo e respectivos pórticos devem ser sobrelevados, destacando-se “do restante nível da cidade”. No cap. 5 do Livro VII são descritas condições para adição do pódio aos templos.<sup>85</sup> De acordo com o axioma edifício-corpo, propõe que a altura do pódio seja proporcional à largura do templo. A partir da observação da prática de arquiteto da Antiguidade, Alberti especifica três *rationes* para o cálculo da altura do pódio. Com efeito, considera que o ratio corresponde a um sexto, salvo nos templos maiores, que deverá ser de um sétimo, ou ainda, nos templos muito grandes, que deverá adoptar um nono da largura do templo

No cap. 6 do Livro V, são caracterizados dois tipos de templos, os templos menores e maiores. O critério de diferenciação é a sua dimensão simbólica, ou melhor, a importância da sua localização e pontífice que o preside. No cap.5 do Livro IX propõe o recurso a proporções harmónicas para a definição das proporções da área dos templos. Neste contexto, como veremos mais adiante, Alberti divide as áreas inferidas destas proporções em áreas pequenas, médias e amplas. Contudo, uma área de proporções pequenas poderá em valor absoluto ser maior do que área de proporções maiores, para tal, basta que a largura do templo seja de grandes dimensões. Por este motivo, os critérios estabelecidos no Livro V e IX não nos permitem inferir relações lógicas absolutas para a escolha do ratio mais apropriado a determinado templo. Resta ao arquiteto, que no delineamento do templo, tome em consideração as condições específicas do lugar, considerando a sua grandeza física e simbólica, em conjunto com as proporções do templo, para ele próprio decidir qual o ratio mais apropriado para o pódio deste templo.

#### *3.1.4.5. Aberturas*

Após tratamento das paredes e pórticos, Alberti dedica o cap.12, do Livro VII, em exclusivo a aberturas que rasgam as paredes. Como introdução, importa reter o seguinte:

Nos templos, as aberturas das janelas devem ser pequenas e no alto (...) os Antigos contentavam-se, em geral, só com a abertura da porta. Mas, pela minha parte, eu aprovarei o lugar onde haja uma entrada para o templo completamente luminosa, e o interior da nave de modo nenhum soturno. (...) (VII, 12, 1-2)

Após lembrar que todas as aberturas são constituídas por ombreiras e lintel (VII, 12, 3), e afirmar que os Antigos usaram “portas e janelas senão quadrangulares”<sup>86</sup>, Alberti caracteriza aspetos comuns

---

<sup>84</sup> A gravura é publicada em: Piranesi, Francesco et alli. (1835-1839) Opere di Giovanni Battista Piranesi. Tomo 17. Paris: Firmin Didot Freres.

<sup>85</sup> No *De re aedificatoria*, as descrições relativas à função e dimensão do pódio surgem no cap.5 do Livro V, e surgem após as descrições que permitem a inferência da morfologia e proporções das partes do templo, caracterizando a sua composição interna, conforme exposto no subcapítulo 3.1.4.1. Área e compartimentação ou composição espacial. Como o pódio não interfere na composição interna do templo, mas na definição da sua volumetria, pareceu-nos mais correto fazer referência ao pódio no mesmo contexto em que se caracterizam as descrições relativas ao dimensionamento e ornamento das paredes.

<sup>86</sup> Esta afirmação contradiz a utilização de janelas termais, cuja geometria semicircular é descrita neste mesmo capítulo, para a iluminação da nave. Este tipo de janelas é utilizada na igreja de Santo André, Mântua, na alto das paredes das capelas laterais e sob os seus tetos

aos géneros dóricos, jónicos e coríntios, designadamente, a geometria de base retangular que delimitam todas as portas e as partes constituintes (ombreira, lintel e cornija) (VII, 12, 3). De seguida, especifica o que as distingue, nomeadamente, no âmbito do ornamento e proporções de cada uma das partes.

### *Portas*

Apesar desta alusão inicial à iluminação dos templos, em primeiro lugar descreve as aberturas de acesso aos espaços, as portas (VII, 12, 3-7). As dimensões das portas são obtidas pela divisão da totalidade da sua altura em fracções, atribuindo diferentes *rationes* a cada uma das suas partes (vão, lintel e cornija) e estabelecendo correspondências entre a altura do vão e a sua largura, e esta dimensão com a largura das ombreiras. Estas *rationes* variam nos diferentes géneros de sistema de colunas (VII, 12, 4-6). Excepcionalmente, para situações em que a porta coríntia fique a céu aberto, prevê a adição de um pórtico, constituído por um único intercolúnio como a largura do vão da porta (VII, 12, 7). Alberti aconselha que o ornamento das partes das portas siga as prescrições feitas no âmbito do sistema de colunas.

Se o pormenor descritivo do ornamento das portas não é surpreendente, a falta de informações relativas à sua disposição e dimensões globais das portas parecem estar em falta. O princípio da simetria aplicado na arquitetura Clássica coloca a porta de acesso aos templos na linha axial do frontispício, mas ao contrário do que sucede na secção dedicada à descrição das basílicas, em que a “altura da porta nas basílicas tem por referência o pórtico” (VII, 15, 10), nos templos é omissa a informação relativa à altura global das portas.<sup>87</sup>

### *Janelas Termiais*

As janelas aplicáveis aos templos descritas por Alberti, remetem para as janelas termiais ou de Diocleciano.<sup>88</sup> Segundo Alberti devem localizar-se na parte superior das paredes, próximas ou imediatamente abaixo da abóbada e conformando uma abertura em semicírculo, de modo acompanhar a geometria da abóbada. A largura do vão se deve dividir em três partes, separadas por duas pilastras cujas proporções seguem as do pórtico e o ornamento das portas (VII, 12, 14).

### *Nichos*

Finalmente, sugere-se que o delineamento dos nichos siga o das portas, e que a sua altura corresponda a um terço da altura do muro. Dada a brevidade com que Alberti descreve os nichos, não são definidos critérios para a seleção de paredes para a sua colocação (VII, 12, 14). Porém, em Sant’Andrea verifica-se a sua utilização nas paredes contraforte das laterais, disposição que se pode

---

abobadados. Tanto nesta igreja, como na igreja de São Sebastião, também em Mântua, observa-se o recurso a aberturas circulares para filtrar a iluminação interior, na primeira, no frontispício por um *ombrelone*, e na segunda, por óculos nos topos das fachadas.

<sup>87</sup> A altura da porta nas basílicas tem por referência o pórtico. Alberti refere: “Se no exterior se acrescentar um pórtico em lugar do vestíbulo, terá a mesma altura e a mesma largura que o pórtico do interior. O vão, as ombreiras e outras medidas das portas serão obtidas dos templos (...)” (VII, 15, 10).

<sup>88</sup> Krüger (2011, n. 1356) faz referência às janelas das termas de Diocleciano, em Roma (atualmente igreja de Santa Maria degli Angeli e dei Martiri), conhecida por ‘janela termal ou de Diocleciano’, que aparece, entaipada e substituída por um óculo, nas capelas laterais da igreja de Santo André em Mântua. Este tipo de janela, que foi utilizado, no séc. XVI, por Palladio nas suas *villas*, bem como nas igrejas de San Giorgio Maggiore e de *Il Redentore*, em Veneza, difundiu-se na segunda metade do séc. XIX no seio do sistema das *Beaux-Arts*.

considerar razoável tendo em vista a dimensão desse tramo de parede e, a economia de recursos que Alberti defende na construção<sup>89</sup>.

*Articulação espacial: nave e capelas laterais*

Uma vez descritas as principais partes dos templos, Alberti dedica-se à descrição de aspetos específicos à articulação dos diversos espaços internos dos templos (Morolli & Guzzon, 1994, p. 153).

Com efeito, no início do cap.10, Livro VII, em apenas um parágrafo, descreve três possibilidades para o tratamento das aberturas das capelas laterais (VII, 10, 1). A primeira, não prevê o acrescento de nenhum elemento e, portanto, deixando a abertura completamente desimpedida para passagem. A segunda, propõe a adição de um pórtico de arquitrave constituído por duas colunas e, a terceira, considera a adição de elementos/muros às extremidades das aberturas, estreitando a passagem.

Uma vez que Alberti não desenvolve descrições necessárias à clarificação de soluções em que há adição de partes, isto é, do pórtico arquitravado ou de muros nas extremidades da abertura,<sup>90</sup> e de modo a clarificar este tema, consideramos pertinente o estudo de Morolli e Guzzon (1994, pp. 153-154) na análise a estas duas soluções, pondo-as em contraponto com duas obras atribuídas a Alberti.

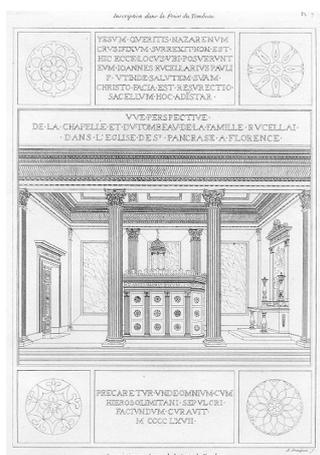


Figura 24. Vista da capela e sepulcro da família Rucellai, igreja de São Pancrácio, Florença, depois de 1457. Imagem de Grandjean e Famin, 1873.<sup>91</sup> (Tavernor R., 1998, p. 106)

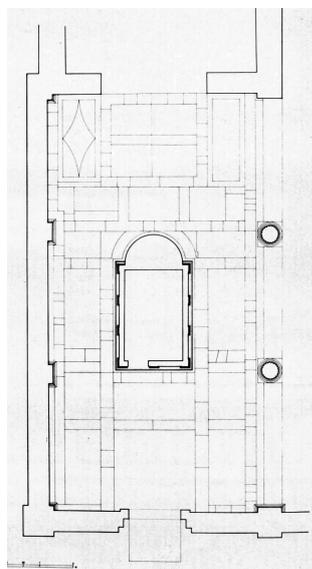


Figura 25. Planta da configuração original da capela do Santo Sepulcro Rucellai, Florença (Rykwert, 1979, p. 64).



Figura 26. Fotografia de Tavernor, da frontaria da igreja de São Pancrácio, Florença (Rykwert, 1979, p. 67).

Primeiro, a capela Rucellai e o Templo do Santo Sepulcro (1467), construídas no interior da pré-existente igreja de São Pancrácio, Florença. Vasari, na sua obra historiográfica *Le vite de' più eccellenti*

<sup>89</sup> A abertura de nichos nas paredes de abertura da capela-mor ocorre em diversas igrejas do período da Renascença, em Portugal, a igreja de São Roque de Lisboa exemplifica essa composição.

<sup>90</sup> Esta diferenciação é essencial ao estabelecimento de correspondências com edifícios sagrados representativos da arquitetura da Contrarreforma em Portugal (Capítulo. 6). Mais adiante, no momento da análise desses exemplos, expõem-se essas variações.

<sup>91</sup> Ver [http://www.vintage-views.com/rucellai-family-chapel\\_tomb-in-st\\_pancrazio-church.html](http://www.vintage-views.com/rucellai-family-chapel_tomb-in-st_pancrazio-church.html)

*ti pittori, scultori e architettori* atribui a autoria de ambas as obras a Alberti (2008, p. 46), afirmação que Tavernor (1998, p. 110) refere carecer de verificação documental. Porém, considera que a intervenção corresponde à visão arquitetónica de Alberti, nomeadamente, ao intervir sem destruir desnecessariamente a estrutura existente. O facto de Alberti descrever uma ligação entre as capelas e a cela dos templos análoga<sup>92</sup> à construída em São Pancrácio reforça a possibilidade de atribuição destas obras a Alberti.

Segundo, na igreja de Sant'Andrea, as pequenas capelas situadas entre aberturas das capelas laterais, isto é na ossatura, encerram-se com um muro aberto apenas por uma porta, colocada ao centro, e que dá acesso ao seu interior.

Ainda que Alberti tenha escolhido o género coríntio para sistema de colunas do pórtico original da abertura da capela Rucellai, mas uma vez que o *De re aedificatoria* não especifica o género aplicar nestas situações, consideramos a possibilidade da utilização de outros géneros e combinações para estes pórticos. De modo semelhante, e seguindo o exemplo de Sant'Andrea, o ornamento das portas que ligam as capelas laterais à nave, quando encerradas por muros consideramos que poderão adotar os diferentes géneros do sistema de colunas Albertiano.

### *Sumário*

De modo a reunir neste subcapítulo todas as informações relativas às aberturas dos templos, acrescentamos as descrições relativas ao tratamento da abertura das capelas para a cela (VII, 10), às descrições das portas, janelas termais e nichos (VII, 12). Ainda que nos interesse esta unidade para a organização do *corpus* e GF<sub>A</sub>, a operação formal que caracteriza as portas, janelas e nichos é a subtração do volume de parede correspondente ao seu vão. Por outro lado, a articulação espacial da nave e capelas laterais é realizada através da adição de “parede(s)”.

As dimensões de todas as aberturas são dependentes do sistema de colunas que as ornamenta. Alberti não estabelece nenhuma relação entre o tipo de sistema de colunas utilizado no ornamento do(s) pórtico(s) e o sistema de colunas a utilizar nas aberturas. Pelo que, Alberti consideraria admissível a adoção de diferentes cânones para diferentes tipos de janelas. Com isto, o sistema de colunas aplica-se de modo singular a cada um dos elementos a ser ornamentado, ficando ao critério do arquiteto a aplicação do sistema combinatório intrínseco ao *columnatio*.

#### *3.1.4.6. A dimensão edificatória dos números*

Conforme exposto no capítulo anterior<sup>93</sup>, a justa coligação das noções de *numerus*, *fnitio* e *collocatio* formulam a *concinnitas* (IX, 5, 4). No cap.5 do Livro IX, Alberti propõem o recurso à dimensão qualitativa dos números<sup>94</sup> para a inferência de sistemas proporcionais na delimitação da área e volu-

---

<sup>92</sup> Constituída por quatro colunas, duas pilastras nas extremidades, e duas colunas no meio, separando três intercolúnios (VII, 10, 1).

<sup>93</sup> Ver subcapítulos 2.1.1. *Origem, Princípios e Organização da De re aedificatoria* e 2.1.3. *A teoria artística no De re aedificatoria*,

<sup>94</sup> A propósito do significado qualitativo e quantitativo dos números na arte edificatória albertiana ver *Beleza e Sistemas Proporcionais*, onde Krüger (2014, pp. 263-311) refere “A noção de *numerus*, em particular, será conformadora das consonâncias musicais, de origem Greco-Medieval, que Alberti, no Livro IX, cap. 5, utiliza para estabelecer os sistemas proporcionais na arte edificatória. No entanto, esta

me dos edifícios. Neste contexto, considera a utilização de números inteiros, propondo a sua aplicação em *rationes* para a criação de analogias entre consonâncias musicais e proporções harmónicas. Com o propósito de “obter um universo mais alargado de *rationes*” (Krüger, 2014) Alberti considera ainda sistemas proporcionais formulados por números perfeitos e correspondências inatas. Finalmente, propõem o utilização de mediedades (aritmética, geométrica e musical), cuja principal função é determinar a altura dos edifícios (IX, 6,8).

#### *Números “perfeitos”*

Remetendo para os antigos e seguindo as leis da natureza, os números ímpares e pares têm funções distintas. Com os pares dispuseram “os ossos dos edifícios ângulos e os outros elementos do mesmo género” e com os ímpares, determinam o número de aberturas<sup>95</sup> (IX, 5, 9).

De entre estes números, segundo Alberti, os mais dignos “familiares à natureza e célebres entre os sábios” foram tomados para a composição de partes dos edifícios. Da natureza retira os números ímpares: o 3, do princípio ternário da natureza; o 5, o número de dedos da mãos dos homens; o 7, o número de planetas; o 9, por influência Aristotélica; e considera ainda a nona parte (1/9), por corresponder a 40 dias do ciclo anual, um período a que Hipócrates (*Epidemia*) atribui ciclos da ordem da fisiologia humana (IX, 5, 10).

Relativamente aos números pares considera: o quaternário (4) como divino; o senário (6), número perfeito por ser idêntico à soma dos seus divisores:  $6 = 1+2+3$ ; o octonário (8), pelo papel que desempenha na natureza; e o 10, o mais perfeito dos números Aristotélicos, uma vez que o seu quadrado corresponde à soma dos cubos dos quatro primeiros inteiros ( $10^2 = 1^3+2^3+3^3+4^3$ ).

#### *Delimitação e proporções harmónicas*

“A delimitação é, para nós, uma certa correspondência entre as linhas com que se medem grandezas. Uma delas é a do comprimento, a segunda a da largura e a terceira a da altura. O princípio da delimitação deduz-se, da forma mais conveniente, das obras em que nos apercebemos e conhecemos que a natureza se apresenta à nossa contemplação e admiração.(...)” (IX, 5, 13)

“Os números, pelos quais se faz com que a concinidade das vozes se torne agradabilíssima aos ouvidos, são os mesmos que fazem com que os olhos e o espírito se encham de um prazer maravilhoso. O princípio da delimitação será tirado inteiramente da música, na qual estes números são utilizadíssimos e, além disso, daquilo em que a natureza ofereça por si algo notável e digno. (...)” (IX, 5, 14)

Alberti define delimitação como a noção que estabelece as proporções da volumetria dos edifícios. Ou seja, pelo estabelecimento de relações entre o comprimento, a largura e a altura dos edifícios. Alberti toma as consonâncias musicais como razões para o estabelecimento de proporções harmónicas que estão na origem do princípio da delimitação. As consonâncias musicais são inferidas de sons

---

noção para a cultura grega não coincide com a do sistema numérico decimal utilizado atualmente, dado que altura não existem números no sentido abstracto do termo.”

<sup>95</sup> Alberti adverte que as aberturas dos templos nunca foram além do número dez (IV, 5, 12).

produzidos a partir de duas cordas, uma mais comprida, a que ressoa um som grave, e uma mais curta, com um som agudo. Pela comparação do som produzido por cordas com diversos comprimentos definem-se as diferentes consonâncias harmônicas, às quais corresponde uma proporção aritmética<sup>96</sup> (Krüger M. J., 2011, p. 598). A Tabela 3 ilustra a correspondência entre o valor harmônico das consonâncias musicais consideradas por Alberti, a sua terminologia e valores aritméticos.

Tabela 3. Correspondência do valor harmônico das consonâncias musicais à terminologia e valor aritméticos.

Consonâncias Musicais	Termos Aritméticos	Relações Numéricas
diapente	sesquiáltera	2:3
diatesseron	sesquitércia	3:4
diapason	dupla	1:2
diapason-diapente	tripla	1:3
disdiapason	quádrupla	1:4
tom	sesquioitavo	8:9

Segundo Alberti, os números<sup>97</sup> que envolvem estas correspondências harmônicas foram tidos em conta pelos arquitetos para o dimensionamento da largura, comprimento e altura dos edifícios:

“Os arquitectos usam todos estes números de forma extremamente adequada; não só tomam dois de cada vez, como para dispor o foro, as praças e as áreas ao ar livre, onde se consideram apenas duas dimensões, a da largura e a do comprimento; mas também usam três de cada vez como na disposição das salas públicas, do senado, da cúria e outros espaços do mesmo género, onde comparam entre si o comprimento e a largura e querem que a ambas as medidas corresponda a altura de acordo com a harmonia.” (IX, 5, 16)

Alberti faz corresponder as consonâncias musicais às duas dimensões das proporções das áreas dos edifícios, dividindo-as em áreas pequenas, médias e amplas (Tabela 4). Para as áreas pequenas considera o quadrado (1:1), que corresponderá a uma consonância em unísono, a sesquiáltera (2:3) e a sesquitércia (3:4). Às áreas médias correspondem a dupla (1:2) ,”a melhor de todas”, a sesquiáltera duplicada (4:9) e a sesquitércia duplicada (9:16).<sup>98</sup> Por fim, às áreas amplas faz corresponder a tripla (1:3), a dupla sesquitércia (3:8) e a quádrupla (1:4)<sup>99</sup> (IX, 6,1-2).

<sup>96</sup> Por exemplo, a diferença de som entre uma corda e a sua *sesquiáltera* (em latim, *sesqui* significa um e meio) corresponde a uma quinta mais abaixo - a consonância *diapente* (em grego, pente é cinco) e à proporção de 2:3 (IX, 5, 15).

<sup>97</sup> As diferentes consonâncias, ou intervalos, obtêm-se pelo recurso aos números um, dois, três e quatro, que somados correspondem ao número perfeito dez. Ver Nota Krüger (2011, n. 1769).

<sup>98</sup> A sesquiáltera duplicada corresponde a  $(2:3)(2:3) = (4:9)$  e a sesquitércia duplicada  $(3:4) (3:4) = (9:16)$ .

<sup>99</sup> A tripla obtém-se pela junção de uma dupla com uma sesquiáltera,  $(1:2) (2:3) = 1:3$ , a dupla sesquitércia corresponde à junção de uma dupla com uma sesquitércia,  $(1:2) (3:4) = 3:8$  e a quádrupla à junção de duas duplas  $(1:2) (1:2) = 1:4$ .

Tabela 4. Correspondência entre consonâncias musicais e áreas dos edifícios.

Áreas pequenas	Áreas médias	Áreas amplas
1:1	1:2	1:3
2:3	4:9	3:8
3:4	9:16	1:4

Alberti associa uma terceira dimensão às consonâncias que determinam as duas dimensões da área, e estas corresponderão as proporções dupla, tripla e quádrupla. A dupla associa a proporção sesquiáltera (2:3) à sesquitércia (3:4), resultando em 2:3:4, ou pela associação da sesquitércia à sesquiáltera em 3:4:6. A tripla obtém-se pela associação da dupla (1:2) e uma sesquiáltera (2:3), produzindo 2:4:6 e na situação inversa, 2:3:6. A quádrupla corresponde à duplicação da dupla (1:2), ou seja a (2:4:8), ou ainda, pela combinação da dupla com sesquiáltera (2:3) e sesquitércia (3:4) em simultâneo, resultando em 2:3:8 e 3:6:12 (Alberti, IX, 6, 3). Estas correspondências sugerem proporções adequadas para o dimensionamento da altura das paredes, nas áreas dupla, tripla e quádrupla, respectivamente. Na Figura 27 ilustram-se as volumetrias e secções correspondentes a cada uma das proporções harmônicas. Nesta representação considera-se o número mínimo para a largura da área, o máximo para o comprimento da área e o “mediano” para a altura. Esta ordenação é referida por Alberti na aplicação de proporções inatas e mediedades, como veremos de seguida (IX, 6, 7).

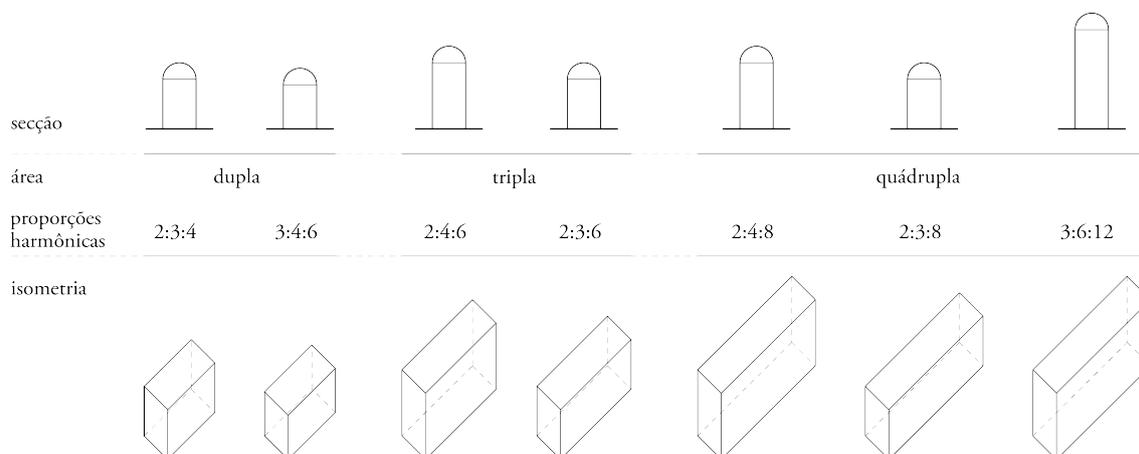


Figura 27. Dimensionamento da cela dos templos conforme proporções harmônicas.

### *Números irracionais ou proporções inatas*

Aos números inteiros e perfeitos, inferidos da natureza, do corpo, de divindades greco-romanas e das harmonias musicais, Alberti acrescenta os números irracionais enquanto dimensões da arte edificatória<sup>100</sup> cujas proporções “inatas que não se podem determinar de forma alguma por meio dos números, mas se conseguem representar mediante raízes e potências.” (IX, 6, 5). Alberti observa que as diagonais das faces de um cubo unitário correspondem à  $\sqrt{2}$ , que as diagonais desse cubo corres-

<sup>100</sup> A este propósito ver os seguintes autores: (Wittkower, 1962; Karvouni, 1994, pp. 285-286; March, 1998, p. 191; Krüger, 2014, pp. 292-295). Investigações no âmbito da utilização de correspondências inatas em edifícios construídos de Alberti, ver também (Tavernor, 1985; Rykwert & Engel, 1994; March, 1998, pp. 192-193)

pondem a  $\sqrt{3}$ , e que ao traçar um triângulo retângulo, em que o lado menor corresponde à dimensão unitária do cubo e o lado maior a  $\sqrt{3}$  (triângulo  $\sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3}$ , ilustrado na Figura 28), a hipotenusa deste triângulo corresponde a  $\sqrt{4}$  (triângulo  $\sqrt{1}:\sqrt{3}:\sqrt{4}$ , ilustrado na Figura 28) (IX, 6, 7).

Em suma, Alberti prevê o recurso aos números  $\sqrt{1}$  ou 1,  $\sqrt{2}$ ,  $\sqrt{3}$  e  $\sqrt{4}$  ou  $2^{101}$ , para o cálculo de proporções (inatas), através de diagonais que resultam em  $\sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3}$  no cubo unitário e ainda no conjunto  $\sqrt{1}:\sqrt{3}:\sqrt{4}$ .

Com efeito, na utilização das proporções inatas para a delimitação da área dos templos Alberti refere que a linha mais curta corresponde “à largura da área e a mais comprida ao comprimento, ao passo que as médias devem ser atribuídas à altura” (IX, 6, 7). A estas proporções correspondem os volumes representados na Figura 28. Contudo, Alberti acrescenta que “às vezes permutar-se-ão, tendo em conta a comodidade dos edifícios” (IX, 6, 7). Isto é, parcialmente, poderemos considerar as seguintes proporções inatas:  $\sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3}$ ;  $\sqrt{2}:\sqrt{3}:\sqrt{4}$ ;  $\sqrt{1}:\sqrt{3}:\sqrt{4}$ .

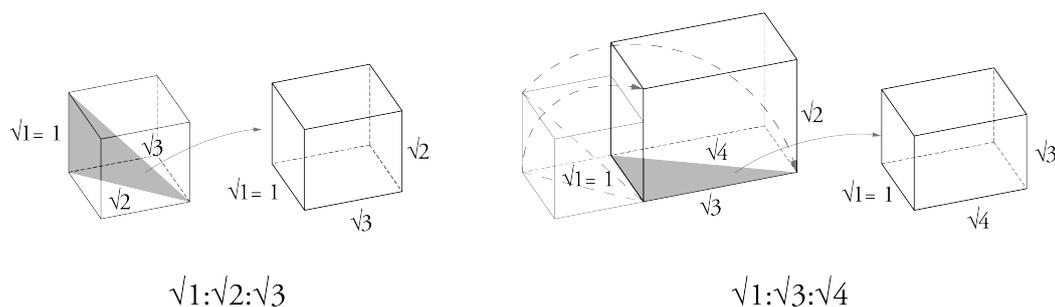


Figura 28. Inferência de correspondências inatas a partir das dimensões e diagonais de um cubo unitário.<sup>102</sup>

### *Mediedades: aritmética, geométrica e musical*

Na procura de proporções harmónicas para a delimitação dos edifícios, Alberti introduz ainda as mediedades<sup>103</sup>, enquanto sistema complementar às harmonias musicais e à analogia corpo-edifício.

“(…) O cálculo das mediedades é diverso e complexo; mas, segundo os sábios são três os modos principais de calcular as mediedades, tendo como objetivo final, que dados os extremos, se obtenha um número médio correspondente a ambos os extremos dados, segundo uma proporção determinada, isto é, por assim dizer, segundo uma certa relação de parentesco.” (IX, 6, 8)

Alberti apresenta as mediedades não no estrito sentido da matemática, mas do meio-termo, da aplicação do bom senso, da ponderação. A principal finalidade da sua utilização é a partir da proporção da área “eivar a medida da altura” (Alberti, IX, 6, 12). Inicialmente referidas por filósofos pré-

<sup>101</sup> De entre estes números, apenas  $\sqrt{2}$  e  $\sqrt{3}$  são irracionais, uma vez que  $\sqrt{1}=1$  e  $\sqrt{4}=2$ .

<sup>102</sup> ver Euclides, *Elementa geometriae*, II, 10; XIII, 14 e 15

<sup>103</sup> “Mediedade (*mediocritas*) que Alberti aplica “já se encontra explicado na cultura clássica, tanto na pré-socrática, como em Platão e em Aristóteles e, ainda, em Horácio, como objectivo de se evitar qualquer excesso, de forma a se promover a integração harmoniosa de vários factores.” (Krüger, 2011, n.406).

socráticos no contexto dos intervalos musicais, e citados por Porfírio no séc. III (Krüger, 2014, pp. 288-289), as três mediedades que Alberti propõe aplicar à arte edificatória são: a aritmética, a geométrica e a musical.

A mediedade aritmética corresponde ao termo médio que se situa entre dois extremos, em que os intervalos que distam o médio aos dois extremos são iguais. Dados os termos  $a$ ,  $b$  e  $c$ , em que  $a$  e  $c$  são os extremos, menor e maior, respetivamente, se  $b-a = c-b$ , isto é, se  $b = (a+c)/2$ , então  $b$  é a mediedade aritmética dos termos  $a$  e  $c$ .

Na mediedade geométrica, a proporção entre o termo menor e o termo médio é igual à proporção entre o termo médio e o termo maior, isto é,  $a/b = b/c$ , isto é,  $b = \sqrt{ac}$ .

Na mediedade musical, ou harmónica, “o primeiro termo excede o segundo por uma fracção de si mesmo, que é igual à fracção do segundo termo pela qual ele excede o terceiro” (Krüger 2011, n.1795). Ou seja,  $(a-b) / (b-c) = a/c$ , em que o intervalo entre os termos maiores é maior que o intervalo entre os termos menores.

### Sumário

O Livro IX retrata a dimensão edificatória dos números através de três sistemas: proporções harmónicas, proporções inatas e mediedades. Estes sistemas expandem o conjunto de *rationes* para o dimensionamento planimétrico e altimétrico da cela introduzidos no Livro VII. É importante verificar que Alberti não faz qualquer referência ao facto de alguns destas *rationes* serem idênticos. Alberti valoriza sobretudo a natureza dessas proporções, pelo que também se depreende que estes sistemas de proporções poderão ser aplicados no dimensionamento de outras partes dos templos. No próximo capítulo, no âmbito do estudo dos edifícios projetados por Alberti verifica-se a adopção de proporções inatas para o dimensionamento das capelas laterais de Sant’Andrea. Ainda que descritos no âmbito do delineamento dos templos, este facto sugere que Alberti considera a aplicação destes sistemas de modo mais amplo no dimensionamento dos edifícios.

#### 3.1.5. Sumário

“Um *corpus* não edificado: os edifícios sagrados no *De re aedificatoria*” circunscreve o conhecimento da teoria albertiana, necessário à inferência da gramática de forma dos edifícios sagrados de planta retangular.

A Figura 29 sintetiza as partes e subpartes dos templos, bem como as relações de dependência deduzidas da leitura do tratado. Este diagrama sugere que Alberti socorre-se dos descritores da edificatória para a definição das partes dos templos. A cela é o elemento inicial ao delineamento de todo o edifício. A cela associada às capelas definem a composição espacial do templo. As dimensões e delineamento das paredes dependem das dimensões e composição interna do templo. A cobertura é dependente das paredes. O processo de delineamento e localização do(s) pórtico(s) deverá concatenar as dimensões e morfologia do corpo do templo, com a natureza combinatória do sistema de colunas. Similarmente, a localização e dimensionamento das aberturas, dependem da morfologia e volumetria do templo e, da natureza do seu ornamento, isto é, do sistema de colunas adotado.

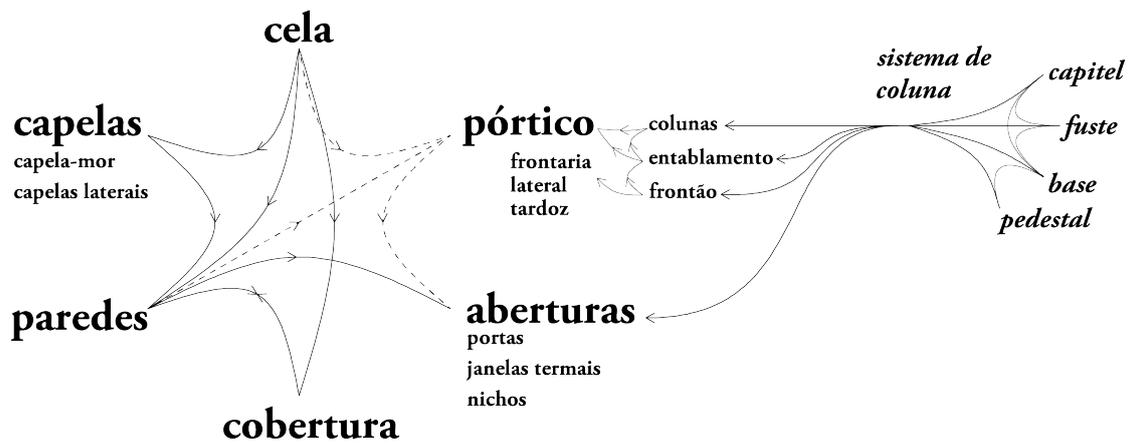


Figura 29. Partes e subpartes dos templos, estruturados de acordo com os descritores da edificatória albertiana expressando as relações de dependência entre eles.

A Figura 30 consta de um diagrama em árvore que explicita cada uma das partes dos templos de planta retangular, descrevendo as propriedades mais relevantes para a inferência de regras de geração dos templos de planta retangular. Neste sentido, são descritos parâmetros como proporção, número, dimensão e geometria que, em conjunto com as relações de dependência sintetizadas no diagrama anterior, permitirão o desenvolvimento de um sistema computacional, baseado em regras, que traduz uma linguagem de projeto expressa textualmente no *De re aedificatoria*.

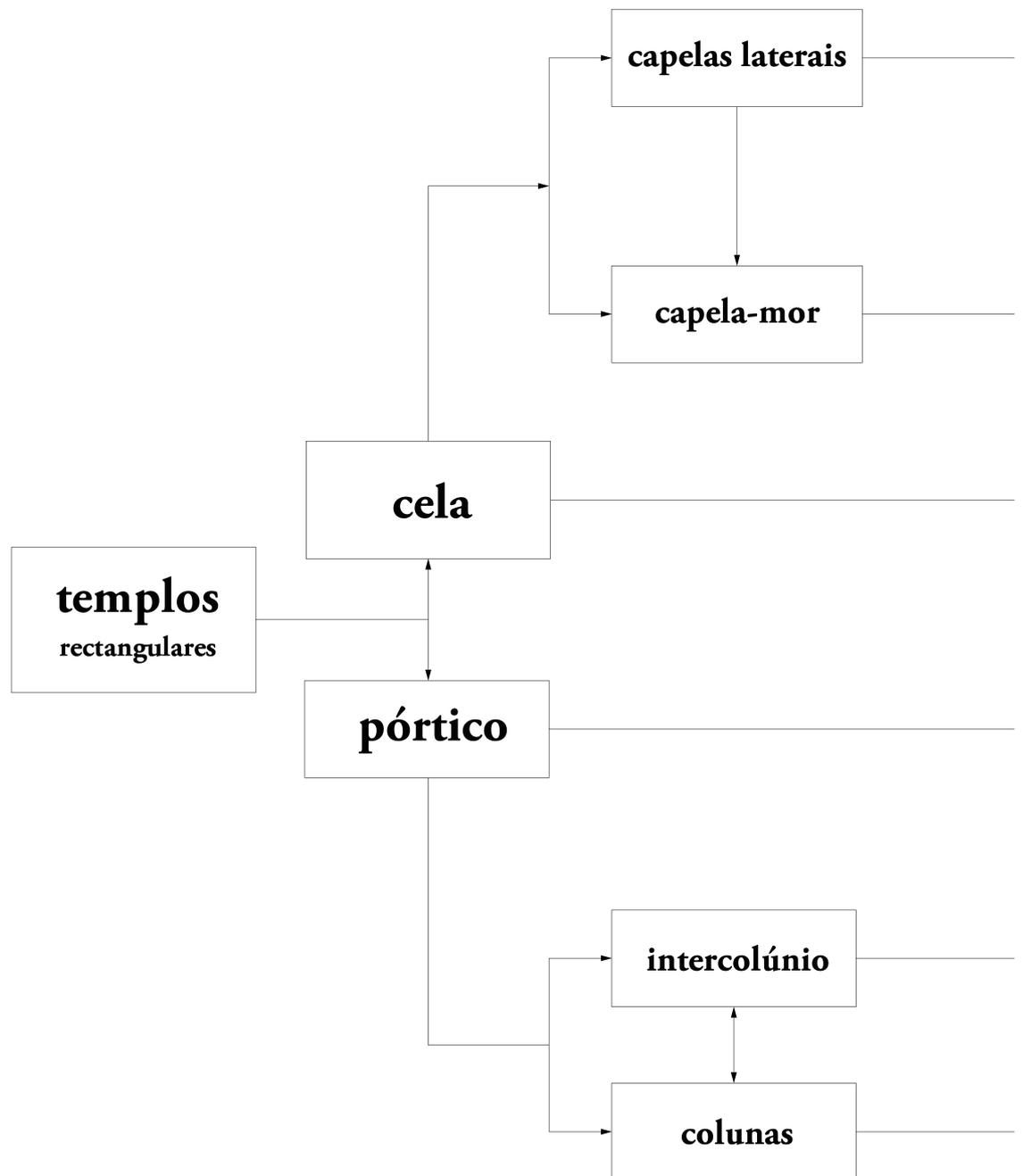


Figura 30. Diagrama representativo das partes constituintes dos templos e suas relações de dependência. Na página seguinte, enumeração de parâmetros que caracterizam a morfologia e proporções das partes, bem como variações que podem adotar.

número	
nenhuma capela	0
um par de capelas	1
nº impar de pares	$2n + 1$

abertura	
= à abertura da capela-mor	
11/12 abertura da capela-mor	

ossatura	
1/5 > abertura de capelas laterais > 1/3	
1/2 abertura de capelas laterais	

geometria	
todas semi-circulares	
todas quadrangulares	
pares alternados semi-circular, quadrangular	
pares alternados quadrangular, semi-circular	
os pares de capelas têm a mesma geometria	

profundidade	
1/2 da abertura	

número	
uma capela localizada a cixo a entrada	1

abertura	
2/4 da largura da cela	
4/6 da largura da cela	

geometria	
semi-circular (preferível se mais do que uma capela)	
quadrangular	

profundidade	
igual à abertura	
no caso de capelas semi-circulares terá que ser igual a 1/2 da abertura	

proporção	
na relação	3:4
largura:comprimento,	2:3
pode adoptar os <i>ratios</i> :	1:2

localização	
frontaria	
frontaria e fachadas laterais*	
frontaria, fachadas laterais* e tardo*	
* fachadas sem capelas	

dimensão global	
frontaria	largura $\geq$ largura da área profundidade < 1/3 comprimento da área
fachadas laterais	largura $\geq$ comprimento da área profundidade = intercolúnio* ou 0** *colunas adossadas ** colunas independentes
tardo*	largura = largura pórtico da frontaria profundidade = intercolúnio* ou 0** *colunas adossadas ** colunas independentes

número	
impar $\geq 3$	$2n + 1$

dimensão intercolúnio central	
ic = $1 \frac{1}{4} i$	
no pórtico da frontaria o intercolúnio central (ic) é mais largo que os restantes intercolúneos (i)	

dimensão 5 categorias	
ampliado = 27/8 dcol	
subampliado = 3 dcol	
elegante = 9/4 dcol	
subcompacto = 2 dcol	
compacto = 3/2 dcol	
dcol: diâmetro da coluna	

número	
$ncol \geq 4$ e $ncol = ni + 1$	
ncol: número de colunas	
ni: número e intercolúneos	

diâmetro	
$dcol = wport / (ncol (1 + i) - ic)$	
dcol: diâmetro da coluna	
wport: largura do pórtico	
ncol: número de colunas	
i: intercolúnio	
ic: intercolúnio central	

## 3.2. Gramática dos Edifícios Sagrados de planta retangular

### 3.2.1. Introdução

No subcapítulo anterior sistematizou-se o conhecimento relativo às partes constituintes dos edifícios sagrados: cela interior, definida pela geometria da sua área, capela-mor, capelas laterais e respetivas ossaturas, o pórtico e respetivos sistemas de proporções, e ainda, os diferentes tipos de aberturas que Alberti prevê para os edifícios sagrados.

Este subcapítulo apresenta a gramática dos edifícios sagrados de planta retangular (GF<sub>A</sub>). Este relato divide-se em duas partes. Num primeiro momento expõem-se os mecanismos formais e a estrutura da GF<sub>A</sub>. A segunda parte relata o processo de inferência das gramáticas descritivas e subseqüentes GFs que compõem a GF<sub>A</sub>. Este processo dá-se pela tradução do conhecimento edificatório registado, em exclusivo, no *De Re Aedificatoria*<sup>104</sup>, em regras de forma. Neste contexto, ordenamos esta exposição de acordo com a ordem de estágios generativos em que organiza a GF<sub>A</sub>.

### 3.2.2. Formalismos da gramática e organização da gramática

#### 3.2.2.1. Composição da gramática

A GF<sub>A</sub> é uma gramática composta constituída por gramáticas paralelas, nomeadamente, (i) uma gramática de descrição textual, extraída do tratado, (ii) uma gramática de descrição de parâmetros e condições para a aplicação das regras de forma, e ainda, quatro GFs de funcionamento paramétrico, específicas à representação de relações espaciais expressas em diferentes vistas: (1) planta, (2) corte, (3) frontaria e (4) axonometria.

A GF<sub>A</sub> é constituída por 66 regras de geração que se dividem em 25 conjuntos de regras (*Regra 1 a Regra 25*). Um grande número de regras agrupam-se em conjunto de regras, por exemplo, a *Regra 3* é composta pelas regras *3a*, *3b* e *3c*. São dois os aspetos que motivam a segmentação das regras em conjuntos de regras. (1) O facto desses conjuntos de regras partilharem parâmetros e condições, diferenciando-se apenas em variações ao nível da relação espacial de natureza não paramétrica, mas, da geometria. Por exemplo, a *Regra 5. Delineamento de capelas laterais* (ver 3.2.3.1. *Composição interna do edifício*) é composta por duas regras de forma, cuja variação é relativa à geometria das capelas. E ainda, (2) verifica-se que em determinados estágios da derivação é adequado agrupar um conjunto de regras, uma vez que estas se complementam para a derivação de uma parte específica do edifício. Por exemplo, as regras que compõem a *Regra 3. Abertura das capelas laterais* partilham parâmetros e condições e, são complementares entre si na execução de uma tarefa generativa específica — definir as aberturas das capelas laterais.

Deste modo, determinados conjuntos de regras agrupam diferentes regras que partilham o mesmo conjunto de parâmetros e condições globais para a sua aplicação. De referir ainda que este desdobramento ocorre em momentos relativos à derivação da mesma parte do edifício. Esta segmentação das regras teve como objetivo simplificar a estrutura da gramática, facilitando a compreensão

---

<sup>104</sup> A publicação de referência utilizada para a investigação é: Alberti, L.B.(2011): *Da Arte Edificatória*, Intr., notas e rev de M. J. T. Krüger, tradução do Latim de A. M. do E. Santo, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

da sua estrutura recursiva, bem como economizar meios para a representação das mesmas ( Figura 34 e Figura 35).

### 3.2.2.2. Os estágios da gramática

A GF<sub>A</sub> organiza-se em sete estágios de geração. A cada um destes estágios corresponde um conjunto de regras tendo em vista a derivação de uma parte do edifício: (1) *Composição interna do edifício*; (2) *Delineamento das paredes*; (3) *Delineamento do pórtico*; (4) *Extrusão das Paredes*; (5) *Adição do Pórtico*; (6) *Adição da(s) cobertura(s)*; (7) *Adição de Aberturas*; (8) *Supressão de marcadores*. Na Tabela 1 e Tabela 2 do Anexo I. *Gramática dos Edifícios Sagrados de planta retangular* sintetiza-se a relação entre as regras da gramática e os estágios de derivação a que correspondem cada uma delas.

- (1) *Composição interna do edifício* é o estágio inicial, ao qual pertencem as de regras de forma necessárias à geração da geometria global e compartimentação do edifício. No final deste estágio obtém-se o contorno geral do edifício, constituído pelo perímetro da cela e possíveis compartimentos anexos, isto é, pela capela-mor e capelas laterais.
- (2) *Delineamento das Paredes*, é o estágio cujo processo generativo tem o objetivo de determinar o perímetro exterior da área do edifício, exceptuando o pórtico. O conjunto de regras de forma deste estágio compreendem a adição de linhas correspondentes ao paramento exterior das paredes, isto é, às suas linhas máximas. A definição do perímetro exterior do templo servirá de referente formal à implantação de pórticos no perímetro do edifício.
- (3) *Delineamento dos pórticos*, este estágio compreende a localização e dimensionamento planimétrico das colunatas que compõem o pórtico, bem como à disposição das colunas ao longo das colunatas. O conjunto de regras de forma deste estágio define uma área de localização do pórtico, servindo de referência à colocação das colunas, representadas por circunferências e marcadores.
- (4) *Extrusão das Paredes*, corresponde ao estágio onde se define a altura das paredes do edifício. Divide-se entre a regra para a geração das paredes da cela e o conjunto de regras para a geração das paredes das capelas. Este estágio inicia a introdução de conhecimento relativo à altimetria das partes dos edifícios. Por este motivo, inicia-se também a utilização de Álgebras  $U_{ij}$  e  $W_{ij}$ , em que  $i$  e  $j > 2$ , correspondentes à utilização de volumes tridimensionais, nomeadamente na gramática *Axonometria*.
- (5) *Adição do Pórtico*, este estágio prevê a adição das partes do pórtico em arquitrave e frontão. Compreende a adição dos volumes das colunas em que pela substituição de marcadores que assinalam as suas localizações e as circunferências representativas do seu o diâmetro são substituídas por cilindros correspondentes ao volume global da coluna<sup>105</sup> (proto-coluna). Adiciona um volume correspondente ao entablamento, colocando-o sobre as colunas e ao longo de cada uma das colunatas do pórtico. Os volumes das colunas e entablamentos dependem de parâmetros cuja variação corresponde aos diferentes géneros dos sistemas de co-

---

<sup>105</sup> Trata-se de uma coluna simplificada, ou proto-coluna, uma vez que o cilíndrico corresponde a uma simplificação da coluna integrando a totalidade das suas partes: base, fuste e capitel.

lunas. Finalmente, contempla uma regra de forma para a adição do frontão no pórtico da frontaria.

- (6) *Adição da(s) cobertura(s)*, é um estágio constituído por regras que adicionam formas correspondentes aos volumes das coberturas da nave central e capelas. As diferentes regras deste estágio prevêm a derivação de dois tipos de coberturas: as coberturas em abóbada e as constituídas por telhados. Estes dois tipos de coberturas variam na geometria e condições de aplicação, pelo que são sintetizadas em diferentes regras de forma.
- (7) *Adição de Aberturas*, é o estágio relativo à geração de aberturas e considera as regras relativas à subtração de áreas das paredes para a conformação das aberturas. As regras deste estágio diferenciam-se pelo tipo de aberturas e ornamentos que constam de cada uma delas. O processo generativo encerra-se neste estágio
- (8) *Supressão de marcadores*, é um estágio constituído por apenas uma regra que temo objetivo de apagar todos os marcadores da solução gerada. Assim, a solução final contém apenas informações relativas à sua qualidade espacial.

Findos os estágios de geração, o utilizador da GF<sub>A</sub> consegue derivar soluções de projeto de edifícios sagrados de planta retangular, conforme descritos no *De re aedificatoria*, e compostas por todos os descritores da edificatória albertiana.

### 3.2.2.3. Gramáticas de descrição

A generalidade das regras de forma da GF<sub>A</sub> são acompanhadas por dois tipos de regras de descrição (ver Anexo I), constituindo no seu conjunto duas gramáticas descritivas. A sequência da aplicação das regras descritivas é análoga às regras de forma correspondentes, sendo ambas regidas pela segmentação determinada nos estágios generativos e pela enumeração pré-definida na estrutura recursiva da GF<sub>A</sub>.

Na primeira gramática descritiva, as regras correspondem a um conjunto de extratos de texto do *De re aedificatoria* ordenados de acordo com a sequência generativa da GF<sub>A</sub> e, contendo regras descritivas textuais que auxiliaram à inferência do conjunto de parâmetros e condições para a geração das partes dos templos, bem como à inferência do conjunto de regras de forma que compõem as GFs.

O *corpus* da GF<sub>A</sub> analisado no subcapítulo anterior, corresponde às partes do *De re aedificatoria* que descrevem o conhecimento relativo à edificação de templos retangulares<sup>106</sup>. Os extratos do tratado que compõem a gramática descritiva são coincidentes com o *corpus*. Porém, a sequência das regras difere da sequência com que são enunciadas por Alberti, como referido, de modo a que a gramática descritiva adequa-se à sequência generativa da GF<sub>A</sub>.

---

<sup>106</sup> Gramáticas analíticas como a gramática das *Villas* de Palladio (Stiny & Mitchell, 1978) e a gramática *Yingzao fashi* (Li, 2001) são parcialmente inferidas de textos e de projetos, o seu *corpus* detém informação gráfica representativa das qualidades espaciais da linguagem de projeto. Em oposição, o *corpus* da GF<sub>A</sub> é composto apenas por texto, esta é uma particularidade das gramáticas desenvolvidas no âmbito do projeto *Alberti Digital* são originais pelo facto dos *corpus* e a gramática descritiva serem coincidentes (Coutinho, 2014).

A segunda gramática descritiva corresponde ao conjunto de descrições que informam a natureza paramétrica das regras de forma. Designadamente, o conjunto de parâmetros e condições implicados nas transformações operadas pelas regras de forma. Por este motivo, formalmente, a  $GF_A$  apresenta as regras de forma em conjunto com a descrição dos parâmetros e condições. As tabelas apresentadas no *Anexo II. Parâmetros e condições* explicitam as notações dos parâmetros e condições em que se aplicam a todas as partes dos templos. A cada uma das tabelas correspondem os parâmetros e notações específicos de cada um dos estágios da  $GF_A$ .

#### 3.2.2.4. Gramáticas de forma paralelas e as suas álgebras

Como mencionado, a  $GF_A$  engloba 4 gramáticas de forma paralelas específicas à representação de diferentes vistas do projeto, designadamente, em planta, corte, alçado e axonometria. As gramáticas descritivas da  $GF_A$  desenvolvem-se em paralelo com as quatro GFs. A enumeração das regras e a estrutura recursiva das gramáticas é comum às quatro GFs, variando apenas a relação espacial correspondente à regra de forma de cada uma delas, bem como as transformações que se aplicam ao nível da planta, alçado, corte e vista axonométrica do projeto em processo de derivação. Deste modo, pretende-se que o conjunto das quatro gramáticas garantam a ilustração da globalidade de transformações espaciais inerentes às descrições de cada uma das regras, e ainda à ilustração da dependência de partes passíveis de estarem representadas em diferentes álgebras.

A  $GF_A$  é uma gramática de forma composta e paramétrica definida no produto cartesiano das álgebras  $U_{ij}$  e  $V_{ij}$ . As álgebras  $U_{ij}$  são utilizadas para a transformação formal, operando variações dimensionais ao longo do processo de derivação de soluções. Em geral, nos primeiros estágios das GFs, as formas são constituídas por pontos e linhas, evoluindo para planos e sólidos nos estágios finais. As álgebras  $V_{ij}$  utilizadas são um pouco mais simples, essencialmente, são formas com marcadores (pontos de referência) que auxiliam ao controlo da aplicação de regras. A  $GF_A$  não recorre à utilização de álgebras  $W_{ij}$  (relativas aos pesos), essencialmente, porque em situações onde Alberti prevê múltiplas possibilidades de derivação e variações no parâmetros, a escolha fica ao critério do leitor / arquiteto.

As regras de forma que compõem as quatro GFs paralelas definem-se em diferentes produtos cartesianos de álgebras  $U_{ij}$ . Isto deve-se ao facto de ao longo dos diferentes estágios de geração, as regras de forma para a geração da planta, corte, alçado e axonometria desenvolverem transformações em diferentes tipos de formas (pontos, linhas, planos e sólidos) segundo representações máximas de diferentes dimensões.

As álgebras mínimas das regras de forma para a geração da planta, corte e alçado são representadas pelo produto cartesiano  $\langle U_{11} U_{11} \rangle$ , enquanto que as álgebras máximas correspondem a  $\langle U_{12} U_{12} \rangle$ . Como exemplo de uma álgebra mínima podemos referir a *Regra 1. Delineamento da cela* (3.2.3.1. *Composição interna do edifício*) para a derivação do alçado e corte. Nesta regra, a forma do lado esquerdo e a forma do lado direito da regra são constituídas por uma única linha máxima, pelo que a sua forma máxima é uma linha ( $i = 1$ ) e a sua representação máxima é unidimensional ( $j = 1$ ). Como exemplo de uma álgebra máxima para a geração da planta podemos referir a mesma Regra 1. Nesta regra o lado esquerdo e direito da regra são constituídos por quatro linhas máximas não coli-

neares, pelo que a sua forma máxima são linhas ( $i = 1$ ) com uma representação máxima bidimensional ( $j = 2$ ).

As álgebras das regras de forma para a geração da axonometria variam ao longo dos diversos estágios. Se nos primeiros estágios a derivação ocorre pela transformação de linhas, não ultrapassando representações bidimensionais, a partir do estágio (4) *Extrusão de Paredes*, verifica-se a existência de regras que transformam linhas, planos e sólidos, com uma representação máxima tridimensional.

Esta diversidade de álgebras é implícita à evolução formal do projeto no processo de derivação de soluções. Para explicitarmos essa variação, no *Anexo III. As álgebras da Gramática dos Edifícios Sagrados de Planta Retangular* apresenta-se o produto cartesiano de álgebras de todas as regras de forma. Neste anexo pode-se observar que o produto cartesiano de álgebras mínimo pode ser representado pela seguinte matriz<sup>107</sup>:

$$\begin{bmatrix} P: < U_{11} V_{01} U_{12} V_{01} > \\ C : < U_{11} V_{01} U_{11} V_{01} > \\ F: < U_{11} V_{01} U_{11} V_{01} > \\ A: < U_{11} V_{01} U_{12} V_{01} > \end{bmatrix}$$

Similarmente, o produto cartesiano de álgebras máximo representa-se pela seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} P: < U_{12} V_{22} U_{12} V_{22} > \\ C : < U_{12} V_{22} U_{12} V_{22} > \\ F: < U_{12} V_{22} U_{12} V_{22} > \\ A: < U_{33} V_{22} U_{33} V_{03} > \end{bmatrix}$$

Tabela 5. A sombreado assinalam-se as gramáticas que fazem a gestão da derivação de soluções. Até ao estágio 4, a gramática desenvolve-se sobretudo ao nível planimétrico. Nos estágios subsequentes, todas as gramáticas interagem para a geração da solução final.

Estágios	1. Composição Interna	2. Delineamento de Parede	3. Delineamento do Pórtico	4. Extrusão de Paredes	5. Adição do (s) Pórtico(s)	6. Adição de Cobertura(s)	7. Aberturas
Planta							
Alçado							
Corte							
Axonometria							

<sup>107</sup> P, corresponde à gramática da planta; C à gramática do corte; F à gramática da fachada; e A à gramática em vista axonométrica.

### 3.2.2.5. Mecanismo de controlo da gramática

A estrutura recursiva e o sistema de representação das descrições têm funções de controlo em diferentes “escalas” das GF<sub>A</sub>. A primeira opera ao nível global da gramática, enquanto o segundo, ainda que atue em todas as regras, opera sobre as partes do todo (ver Figura 34 e Figura 35).

Para o desenvolvimento da GF<sub>A</sub> recorreremos ao tipo de restrições formulados numa GF do tipo de gramáticas sequenciais (Knight T. W., 1999, pp. 23-26). As regras geram formas com marcadores que poderão ser transformadas por regras não imediatamente subsequentes. Esta estratégia relaciona-se sobretudo com os estágios de derivação em que se divide a gramática, justificando-se pelo mesmo motivo que se justifica essa mesma segmentação. Por exemplo, as primeiras regras do *Estágio 2*, relativas à definição do contorno do paramento exterior das paredes da cela, adicionam marcadores essenciais à localização das linhas máximas desse perímetro (p.ex. da cela). Não obstante, apenas no final desse estágio e após a definição do perímetro da área do templo, é que no âmbito do estágio seguinte — *Estágio 3: extrusão das paredes* — se aplicam regras cuja forma e respetivos marcadores são originários de uma regra aplicada em iterações antecedentes.

Tal como caracterizado nas gramáticas sequências, a estrutura recursiva da GF dos edifícios sagrados é determinística. A sequência das regras deve ser aplicada numa ordem específica, mesmo que exista mais do que uma opção nessa sequência a totalidade de opções constitui um conjunto finito de possibilidades pré-determinadas.

Como referido, a maioria das regras de forma incluem transformações paramétricas. O controlo das transformações paramétricas e não paramétricas é assegurado por marcadores. Os marcadores são essencialmente pontos de referência formal de subformas emersas em linhas e formas máximas.

Os marcadores são compostos por símbolos • (geométricos) e símbolos alfanuméricos. Na *Regra 1. Delineamento da cela* (Figura 31) a forma máxima do lado esquerdo da regra e a forma do lado direito são definidas por quatro marcadores: • p1; • p1'; • pc; • pc'. Os marcadores • p1 • p1' definem a linha representativa do tardo da cela e os marcadores • pc • pc' definem a linha da frontaria dos templos. Esta disposição permite controlar a proporção da cela pela manipulação da distância entre estas duas linhas, determinada pelos respetivos marcadores<sup>108</sup>.

A linha axial dos templos (nas regras de forma é representada por uma linha a traço interrompido) corresponde ao eixo de simetria característico dos templos. Dada esta simetria e com o intuito de facilitar a leitura dos marcadores, todos os marcadores que detêm um simétrico diferenciam-se do seu simétrico pela adição de uma plica (') aos marcadores situados no lado direito do eixo axial.

---

<sup>108</sup> A este propósito ver as descrições relativas à *Regra 1. Delineamento da Cela*, na pág. 117.

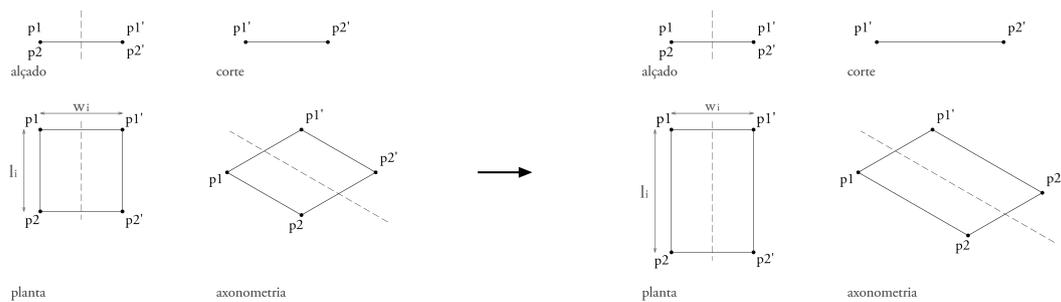


Figura 31. Regra 1. Delineamento da cela, define a proporção da cela.

Por vezes, para o controlo das regras a aplicar, a geometria da forma associa-se a marcadores. Por exemplo, no *Estágio 4. Extrusão de paredes*, a seleção da regra a aplicar na adição da parede da capela-mor é controlada por marcadores – pontos de referência da extremidade das formas relativas as paredes das capelas, coincidentes na forma do lado esquerdo e na subforma do modelo em derivação. Mas também pela geometria da forma, que introduz um valor simbólico à regra, conforme demonstrado por Stiny na gramática *Ice-Ray* (ver no cap. 2.2.2. *Definição e formalismo das GFs*, Figura 6 e 7). Neste caso, se a geometria herdada da Regra 10 contemplar uma capela-mor semicircular, aplicar-se-á obrigatoriamente a Regra 11a (Figura 32). No caso da geometria da capela, herdada de iterações anteriores, ser retangular, aplicar-se-á a Regra 11b. (Figura 33).

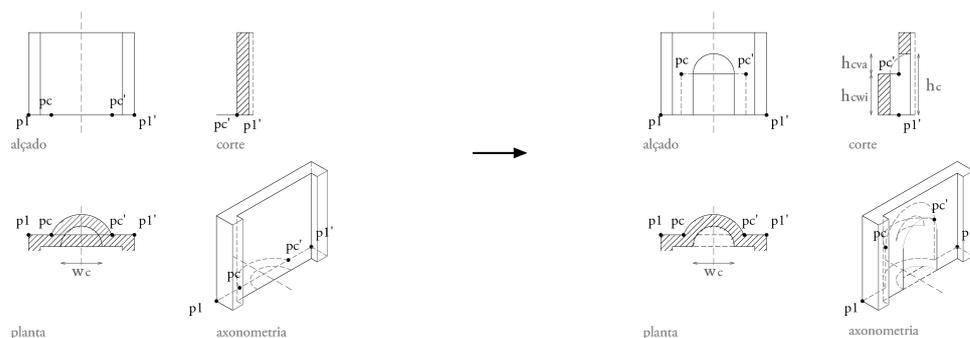


Figura 32. Regra 11a da GF1 para a adição das paredes capela-mor de planta com geometria semicircular.

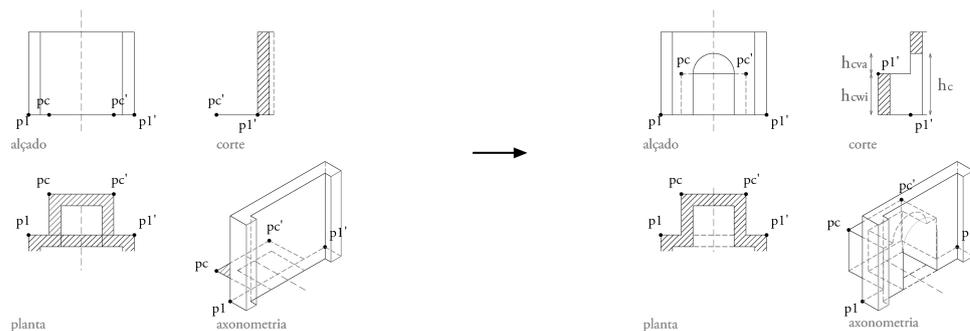
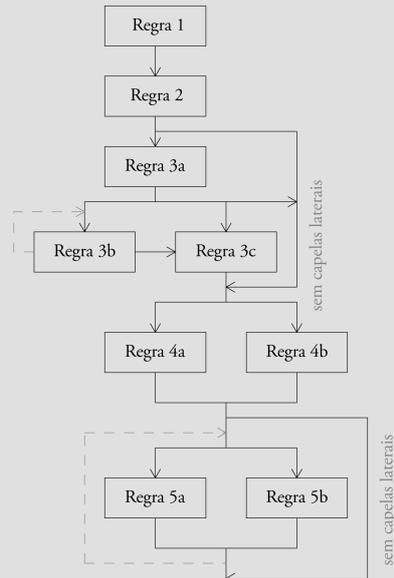
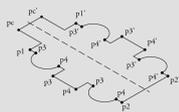
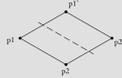
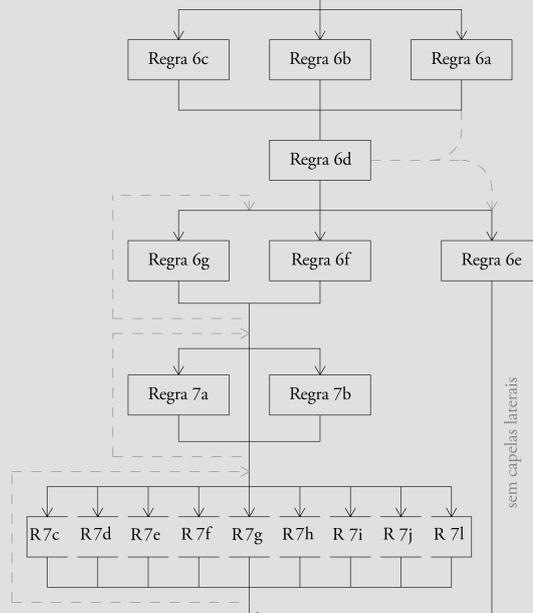
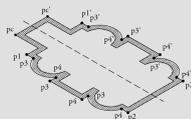


Figura 33. Regra 11b da GF1 para a adição das paredes capela-mor de planta com geometria retangular.

### 1. Composição interna



### 2. Delineamento de paredes



### 3. Delineamento do pórtico

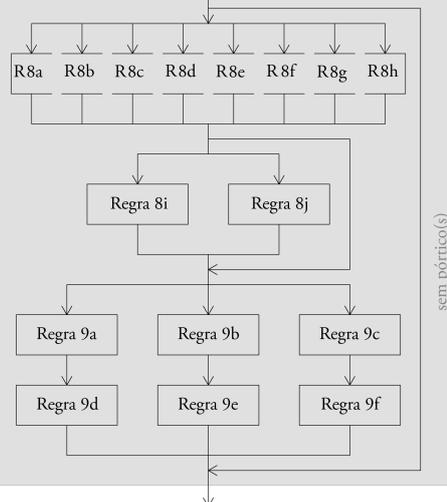
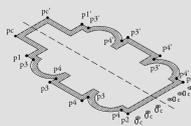


Figura 34. Estrutura recursiva da GF<sub>A</sub>, Estágio 1 a 3.

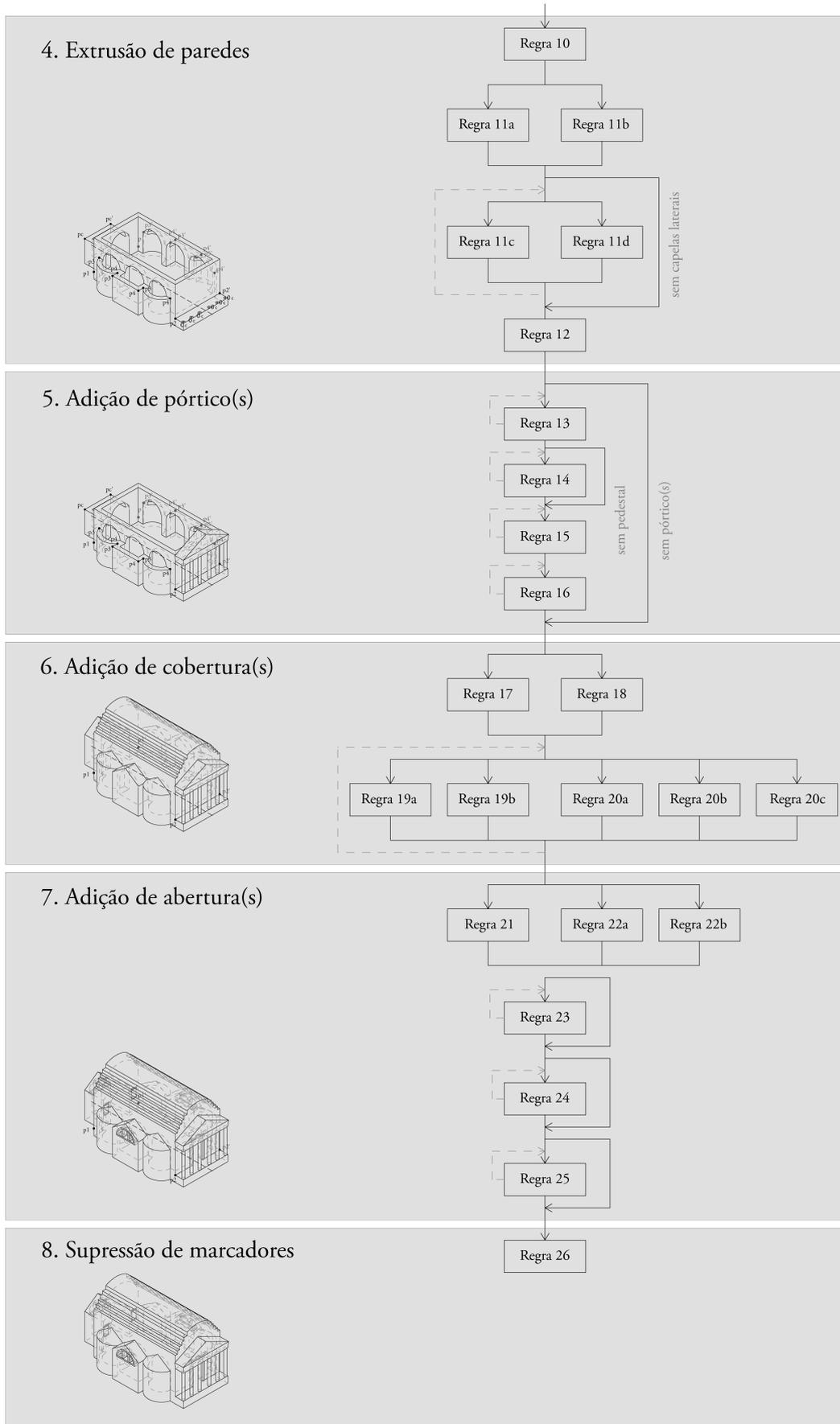


Figura 35. (continuação da Figura 34) Estrutura recursiva da GF<sub>A</sub>, Estágio 4 a 8.

### 3.2.2.6. Estratégia de composição

A estratégia de segmentação da gramática em diferentes estágios corresponde à derivação de partes específicas do edifício facilitando a compreensão do processo generativo. Todavia, esta estratégia tem ainda a função de gerar partes necessárias à geração de partes subsequentes, relativas a estágios mais avançados. Por exemplo, à aplicação das regras do estágio 3. *Delineamento do pórtico*, relativas à localização e dimensionamento do pórticos, é necessária a geração prévia da morfologia global da planta do edifício e a definição das suas dimensões globais (correspondendo à sua composição interna e paredes exteriores) desenvolvidas nos estágios 1 e 2. Este tipo de restrições formais são inerentes à linguagem de projeto definida no *De re aedificatoria*.

Similarmente, o tipo de transformações formais adotados numa GF decorre da composição espacial característica da linguagem de projeto. A este propósito, Knight distingue quatro estratégias de adotadas em GF analíticas (1999, p. 4).

(1) Pela definição de um sistema de grelhas auxiliares ao delineamento geral do projeto, e sua compartimentação espacial, verificando-se a posterior adição de elementos de pormenor a esses espaços. Como exemplos de GFs que adotam esta estratégia destacam-se as gramática das *Villas* de Palladio, (Stiny & Mitchell, 1978), a gramática de salões de chá japoneses (Knight T. W., 1981) e gramática *Yingzao Fashi* (Li, 2001).

(2) Pela de segmentação espacial, normalmente através de sucessivas iterações. Esta estratégia é útil em linguagens cujos projetos têm um limite idêntico, caracterizados por uma geometria regular, ou pouco irregular<sup>109</sup>, mas invariavelmente convexa. Em geral, uma geometria de base côncava acarretaria determinado tipo de problemas na segmentação da geometria. Dadas estas características, esta estratégia foi utilizada na gramática *Ice-Ray*, (Stiny, 1977) na gramática das costas das cadeiras *Hepplewhite* (Knight T. W., 1980), na gramática da Malagueira de Siza (Duarte, 2001), nas gramáticas das pinturas de Vantongerloo, Glarner e Diebernkorn, desenvolvidas por Knight no âmbito da sua investigação de transformações de linguagem de projeto (1983, 1994) e ainda, a gramática dos *bungalows de Buffalo*. (Downing & Flemming, 1981)

(3) Pela adição de partes ao contrário da estratégia anterior, esta estratégia é apropriada a situações em que os projetos da linguagem têm um delineamento irregular e diferente entre eles. A gramática das casas da pradaria de Wright (Koning & Eizenberg, 1981), a gramática das casas *Queen Anne* (Flemming, 1987) e a gramática das casas *Hayat* da Bósnia (Colakoglu, 2002) são disso exemplo.

A estas três estratégias, Knight acrescenta uma (4) quarta estratégia que contempla o delineamento de ligações verticais entre dois pisos. Esta estratégia associa-se a gramáticas tridimensionais, tendo como referência a gramática das casas da pradaria de Wright, a gramática das casas *Queen Anne* e a gramática das casas da Malagueira de Siza. Em qualquer destas gramáticas, é implementada uma estratégia em que o delineamento do piso inferior e a localização dos acessos verticais condicionam o delineamento do piso superior.

---

<sup>109</sup> Knight refere que o limite deve ser regular, contudo, na gramática das cadeiras *Hepplewhite*, um dos exemplos dados por Knight para exemplificar esta estratégia, a geometria base é irregular, ainda que simétrica. Por este motivo, acrescentamos a possibilidade “pouco irregular”.

A maioria dos processos de transformação formal operados na  $GF_A$  enquadram-se na estratégia de adição de partes. Esta estratégia justifica-se pelo facto de Alberti descrever a morfologia dos templos pela sucessiva adição de elementos (cela, capelas, paredes, pórticos, coberturas e aberturas).

Contudo, no *estágio 1*, em que se define a composição interna do templo, antes da adição das geometrias das capelas (*Regra 4 e Regra 5*) devem ser aplicadas as *Regra 2 e Regra 3* para a definição das aberturas das capelas no corpo da cela. Em síntese, o processo de adição da geometria das capelas à cela decorre em duas operações: No primeiro momento define-se a localização e dimensão das aberturas das capelas, subtraindo-se o segmento de reta correspondente à abertura (ver Figura 38, p.121). No segundo momento, adiciona-se a geometria correspondente ao contorno externo das capelas (ver Figura 44, p. 125). Com este exemplo queremos expor que recorreremos à segmentação e subtração de subformas da forma máxima com a finalidade de adicionarmos novos elementos ao projeto. Em suma, estendem-se operações de subtração à estratégia aditiva, de modo a que esta opere em segmentos do limite dos espaços convexos do corpo do edifício.

### 3.2.3. Inferência das regras

Este subcapítulo tem como objetivo narrar o processo de inferência das regras de forma da  $GF_A$ . Este processo caracteriza-se pela tradução de partes do tratado onde são descritos os templos (gramática descritiva textual) num conjunto de parâmetros e condições (descritos em notação algorítmica) e, respetivos esquemas paramétricos representativos das relações espaciais descritas para cada uma das partes dos templos.

Priori à definição das regras de forma, desenvolveram-se esquemas paramétricos genéricos para todas as partes dos templos. Esta tarefa auxiliou à especificação dos parâmetros e condições que (compilados no *Anexo II. Parâmetros e condições*) que acompanham as regras da forma de funcionamento paramétrico, um processo inspirado na metodologia utilizada na *GF Ice-ray* (Stiny, 1977) e sobretudo, na *GF do encosto das cadeiras Heepwhite* (Knight T. W., 1980). Após esta fase inicial, foram inferidas as regras de forma para a geração de cada uma partes dos templos. Este processo seguiu a ordem e objetivos generativos de cada um dos estágios da  $GF_A$ . A totalidade das regras de forma da  $GF_A$  são apresentada no *Anexo I. Gramática dos Edifícios Sagrados de planta retangular*, pelo que neste capítulo publicam-se apenas as regras pertinentes à ilustração dos conteúdos do texto.

#### 3.2.3.1. Composição interna do edifício

O estágio inicial da gramática — *1. Composição interna do edifício* — é constituído pelo conjunto de regras de forma necessárias à geração geometria global do edifício, bem como à sua compartimentação. Composto por 12 regras de forma, distribuídas em 5 grupos de regras (Tabela 6), este estágio tem como objetivo a derivação do contorno geral do edifício, compreendendo o perímetro da cela e de possíveis compartimentos anexos, isto é, da capela-mor e das capelas laterais.

Tabela 6. Enumeração e descrição breve das regras de forma do estágio 1.

Estágio	Regra. Descrição breve
1.	1 Delineamento da cela
	2 Abertura da capela-mor
	3 Abertura das capelas laterais
	a Primeira abertura
	b Aberturas subsequentes
	c Renomeia o ponto de referencia à abertura
	4 Delineamento da capela-mor
	a Capela semicircular
	b Capela retangular
	5 Delineamento de capelas laterais
	a Capela semicircular
	b Capela retangular

### Regra 1. Delineamento da cela

Dada a bipartição dos templos em cela e pórtico<sup>110</sup> e tendo em consideração a dependência de todas as partes do templo à cela — o tronco do corpo-edifício — a primeira regra de forma tem como objetivo a sua definição planimétrica. Uma vez que a gramática dedica-se em exclusivo a edifícios sagrados de base retangular, e dada a natureza adimensional da gramática<sup>111</sup>, para a definição da geometria da cela é apenas necessária a definição da proporção do retângulo que a delimita. Esse *ratio* ( $\alpha$ ), dado um valor absoluto da largura da cela ( $w_i$ ), determina o comprimento da cela ( $l_i$ ), isto é:  $l_i = \alpha w_i$ .

“(…) Em quase todos os templos quadrangulares, os Antigos tiveram em vista produzir uma área tal que o comprimento fosse uma vez e meia a sua largura; outros construíram-na tal que a largura fosse superada em um terço pelo comprimento; outros quiseram que o comprimento tivesse o dobro da largura. Nas áreas quadrangulares o maior defeito de deformidade é se houver algum ângulo que não seja reto.” (VII, 4, 2)

À diversidade de proporções que a cela pode adotar, corresponde um conjunto de valores que podem ser adotados pela variável representativa do *ratio*. No contexto do Livro VII, conforme o excerto anterior, Alberti introduz um conjunto inicial de *rations* para o dimensionamento da cela:  $\alpha' \in \{1, 4/3, 3/2, 2\}$ .

As descrições do Livro IX, caps.5 e 6, alargam este conjunto, na medida em que Alberti considera o recurso a sistemas proporcionais baseados na natureza dos números para a delimitação dos edifícios. No seguimento da descrição das harmonias musicais (IX, 5)<sup>112</sup>. Alberti estabelece uma

<sup>110</sup> Ver subcapítulo 3.1.4.1. *Área e compartimentação ou composição espacial*.

<sup>111</sup> Ver *A dimensão dos templos, um corpo adimensional*, no subcapítulo 3.1.3. *Os templos e a comodidade*.

<sup>112</sup> Ver *Delimitação e proporções harmónicas*, no subcapítulo 3.1.4.6. *A dimensão edificatória dos números*.

correspondência entre estas proporções e as áreas dos edifícios (IX, 6), diferenciando-os em três tipos: áreas pequenas, áreas médias e áreas amplas. Do somatório destas proporções resulta o seguinte conjunto de *rationes*:  $\alpha'' \in \{1, 4/3, 3/2, 16/9, 2, 9/4, 8/3, 3, 4\}$ .

A partir de descrições dos “princípios constitutivos da delimitação dos cubos” (IX, 6, 6-7), isto é, de proporções inatas<sup>113</sup>, infere-se o seguinte conjunto de *rationes*:  $\alpha''' \in \{\sqrt{4}/\sqrt{3}, \sqrt{3}/\sqrt{2}, \sqrt{2}, \sqrt{3}\}$ .

A Figura 37 ilustra o conjunto de proporções relativa a cada um dos sistemas, bem como a união dos respectivos conjuntos, resultando num conjunto final:

$$\alpha = \alpha' \cup \alpha'' \cup \alpha''' \Leftrightarrow \alpha \in \{1, \sqrt{4}/\sqrt{3}, \sqrt{3}/\sqrt{2}, 4/3, \sqrt{2}, 3/2, \sqrt{3}, 16/9, 2, 9/4, 8/3, 3, 4\}$$

A Figura 36 representa o esquema de variação paramétrica das linhas que compõem a cela, pelo posicionamento dos seus vértices. Os vértices que delimitam a linha de tardoz da cela são representados pelos pontos p1 e p1'.<sup>114</sup> Os vértices que delimitam a linha da frontaria da cela são representados pelos pontos p2 e p2'. Finalmente, as linhas que ligam os pontos p1 a p2 e p1' a p2' respetivamente, representam as linhas das fachadas laterais encerrando o perímetro interno da nave do templo, isto é, a cela.

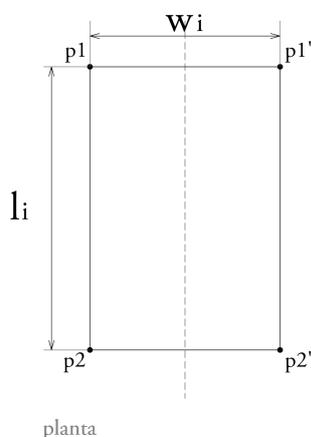


Figura 36. Esquema paramétrico para a delimitação planimétrica da cela dos templos retangulares.

A *Regra 1. Delineamento da cela* é constituída por uma forma inicial quadrangular, em que  $li = wi$ , em que os pontos p1 e p1' e os pontos p2 e p2' deslocam-se para que o retângulo que define o perímetro da cela adote a proporção correspondente a um dos *rationes* previstos no conjunto  $\alpha$ . Com efeito, a *Regra 1* não opera a adição nem subtração de qualquer elemento, apenas a uma variação nas linhas máximas p1p2 e p1'p2'.

<sup>113</sup> Ver *Números irracionais ou proporções harmónicas*, no subcapítulo 3.1.4.6. *A dimensão edificatória dos números*.

<sup>114</sup> Os pontos p<sub>n</sub>' são pontos simétricos de p<sub>n</sub>, tendo como eixo de simetria a linha axial da cela, representada a linha tracejada.



### *Regras 2 e 3. Aberturas das capelas*

“Aos templos acrescentam-se capelas, mais em uns, muitas em outros, poucas.(...)Ou, se se acrescentarem também nos lados, isso far-se-á decorosamente em áreas quadrangulares que tenham de comprimento o dobro da largura; e nos lados não se há-de pôr mais do que uma, ou, se aprouver acrescentar várias, convém que sejam em número ímpar.(...)” (VII, 4, 4)

“A abertura da capela será assim estabelecida. Quando, em áreas retangulares, tiver de haver uma só capela, dividirei a largura do templo em quatro partes, e destas destinarei duas à abertura da capela; ou, se nos agradar um espaço mais amplo, dividirei a largura em seis partes e delas destinarei quatro partes à abertura. Deste modo, os ornamentos das colunas que se devem usar, as janelas e outras coisas do mesmo género, serão muito mais comodamente colocados nos seus lugares. (...) Se, porém, colocares várias capelas em tomo da área, será legítimo fazer as laterais com o mesmo tamanho da capela-mor. Mas eu gostaria que, tendo em vista a sua dignidade, a capela-mor fosse uma duodécima parte maior que as restantes. (...)” (VII, 4, 6)

“A parte sólida dos muros, isto é, a ossatura do edifício que nos templos separa as aberturas das várias capelas, faça-se de tal forma que em nenhum sítio seja menor do que um quinto da largura do espaço vazio, e em nenhum sítio mais largo do que um terço ou, onde pretenderes que as capelas sejam muito fechadas, do que metade.” (VII, 4, 7)

Estes excertos, pertencentes a três parágrafos do cap. 4, Livro VII, constituem a descrição textual necessária à inferência das *Regras 2. Abertura da capela-mor* e *Regras 3. Abertura das capelas laterais*. No contexto deste subcapítulo não iremos transcrever as partes do tratado correspondentes a descrições da gramática.<sup>115</sup> Estes três excertos são a exceção, e têm o propósito de ilustrar o processo de inferência de regras de forma que, se inicia pela leitura do tratado.

Como referido anteriormente, para o delineamento da capela-mor e das capelas laterais em templos de planta de base quadrangular Alberti dá instruções segundo a seguinte ordem: localização, número, geometria e dimensão (da abertura e ossatura).<sup>116</sup> Tendo em consideração esta ordem, bem como a dependência das capelas laterais relativamente à capela-mor, tanto ao nível da existência como da dimensão, propomos que a derivação das capelas se inicie pela definição da abertura da capela-mor (Regra 2) e aberturas das capelas laterais (Regras 3), ilustradas esquematicamente na Figura 38.

---

<sup>115</sup> No Anexo I. *Gramática dos Edifícios Sagrados de planta retangular*, apresenta-se a totalidade das regras de forma da gramática, pelo que, estes excertos constituem a descrição textual do conjunto destas duas regras.

<sup>116</sup> Ver descrição das capelas, no subcapítulo 3.1.4.1. *Área e compartimentação ou composição espacial*.

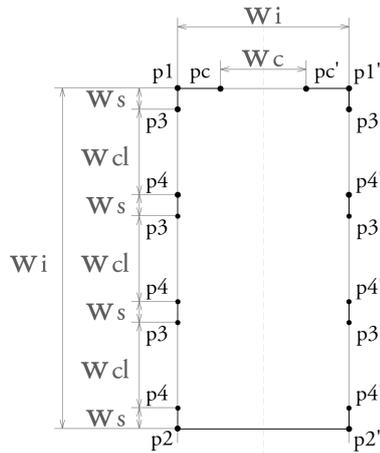


Figura 38. Esquema paramétrico da planta, para a definição da abertura da capela-mor e das aberturas de três pares de capelas laterais.

Conforme explicitado, no subcapítulo dedicado à análise do corpus da gramática<sup>117</sup>, a dimensão da abertura da capela-mor ( $w_c$ ) corresponde a um *ratio* da largura da cela ( $\beta$ ):  $w_c = \beta w_i$ . Alberti prevê dois *rationes* possíveis: um mais amplo, em que  $\beta = 4/6 w_i$ ; e outro, mais estreito, em que  $\beta = 2/4 w_i$ . (VII, 4, 6) O que constitui o conjunto:  $\beta \in \{2/4, 4/6\}$ .

A *Regra 2. Abertura da capela-mor* utiliza estes parâmetros e condições para o cálculo da distância entre os pontos extremos (pontos  $pc$  e  $pc'$ ) do segmento de reta correspondente à abertura da capela-mor. Este segmento caracteriza-se ainda por ser colinear da reta  $p_1p_1'$  e pelo seu ponto médio interseccionar a linha axial do templo. Ao subtrair-se a reta  $pcpc'$  à reta  $p_1p_1'$  (linha máxima da frontaria) obtêm-se dois segmentos de reta:  $pcp_1$  e  $pc'p_1'$ , correspondentes às linhas dos tramos de parede situados entre a capela-mor e as fachadas laterais do templo.

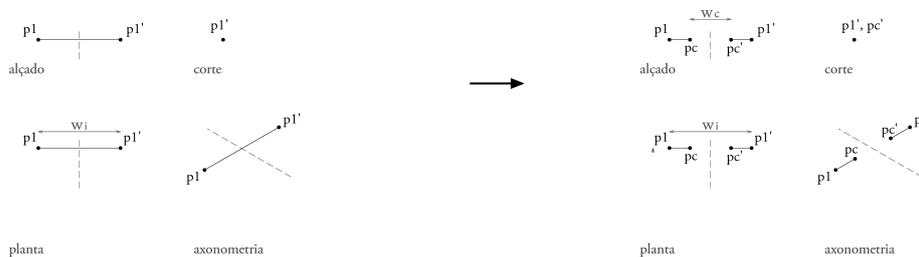


Figura 39. Regra 2. Abertura de capela-mor.

Por sua vez, na possibilidade de existência de capelas laterais, a dimensão das suas aberturas ( $w_d$ ) equivale a um *ratio* da abertura da capela-mor ( $\phi$ ):  $w_d = \phi w_c$ . Esse *ratio* poderá ser igual a um, em que as aberturas das capelas têm todas a mesma dimensão, ou corresponder a  $11/12$  de  $w_c$  (VII, 4, 6). Deste modo, considera-se que  $\phi \in \{11/12, 1\}$ .

Alberti introduz um conjunto de descrições que implicam a definição de mais duas condições que limitam a possibilidade da cela acomodar capelas laterais (VII, 4, 7).

<sup>117</sup> Ver descrição das capelas, subcapítulo 3.1.4.1. *Área e compartimentação ou composição espacial*.

Estas condições definem-se no estabelecimento de restrições entre os seguintes parâmetros: pela dimensão da abertura das capelas laterais ( $w_{cl}$ ); pelo número de capelas laterais ( $n_{cl}$ ); pela dimensão das paredes que separam as diversas aberturas das capelas ( $w_s$ ), isto é a ossatura; pelo comprimento da cela ( $l_i$ ).

A primeira condição é relativa ao dimensionamento da ossatura ( $w_s$ ). Este parâmetro é dependente do comprimento da cela ( $l_i$ ), na medida em que esta dimensão é igual à soma das aberturas das capelas laterais ( $n_{cl} w_{cl}$ ) e respetivas ossaturas ( $(n_{cl}+1) w_s$ ).

A segunda, restringe o número de pares de capelas laterais ao conjunto de números ímpares (VII, 4, 4).

A terceira restrição entre a dimensão da ossatura ( $w_s$ ) e a abertura das capelas laterais, cujo *ratio* deve ser maior que  $1/5$  e menor que  $1/3$ , ou igual a  $1/2$ . A este *ratio* nomeamos de  $\varphi'$ .

A notação algorítmica destas condições sintetiza-se do seguinte modo:

$$w_{cl} = \varphi w_c; \varphi \in \{11/12, 1\}$$

$$w_s = (l_i - n_{cl} w_{cl}) / (n_{cl} + 1)$$

$$\varphi' = w_s / w_{cl} \wedge 1/5 \leq \varphi' \leq 1/3 \vee \varphi' = 1/2$$

Como exemplo de um processo de verificação das condições implícitas à adição de capelas, a Figura 40 ilustra esquematicamente plantas de templos retangulares nas dimensões médias e amplas das proporções harmónicas, compostas por capela-mor e capelas laterais.

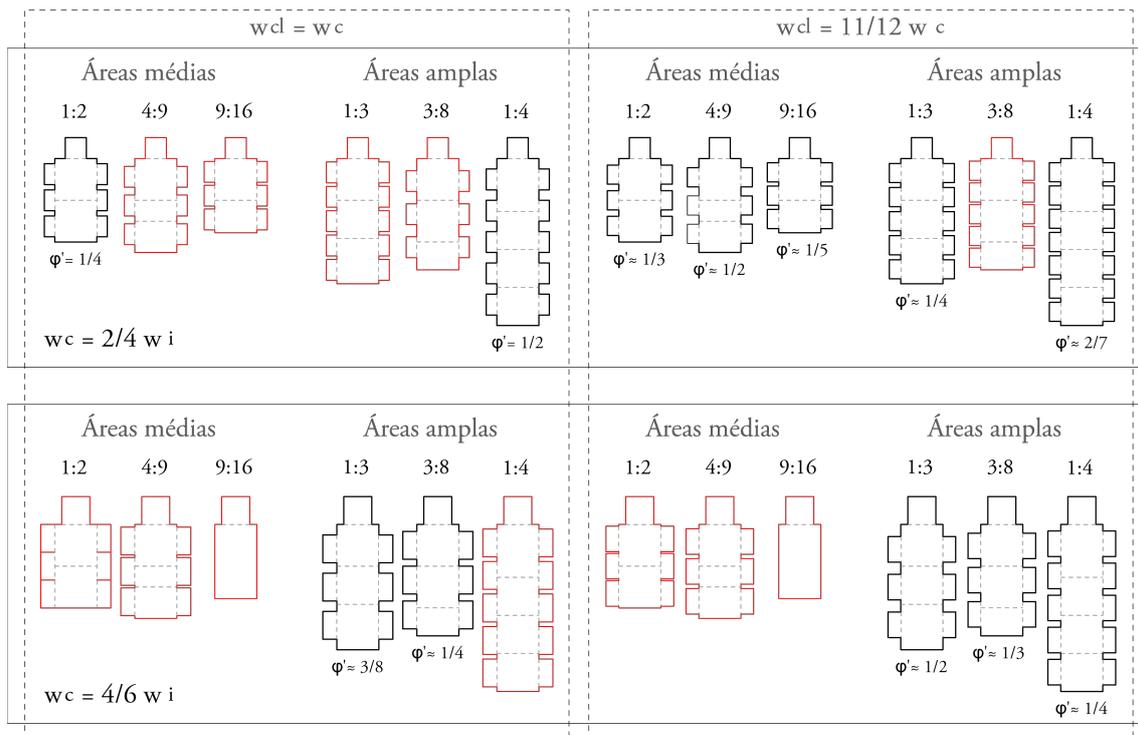


Figura 40. Análise de correspondências entre a dimensão das aberturas das capelas laterais e o comprimento da cela, conforme condições descritas por Alberti, para plantas de templos retangulares nas proporções médias e amplas das proporções harmónicas. Nestes exemplos considera a adição de 3 e 5 pares de capelas, que variam com o comprimento da cela. As plantas com contorno de **cor vermelha não verificam as condições do *De re aedificatoria***, devendo ser excluídas no processo de derivação de soluções.

Na linha superior da Figura 40 representam-se soluções em que  $w_c = 2/4w_i$  (na variação mais estreita) e na linha inferior  $w_c = 4/6w_i$ . Na coluna da esquerda, ilustram-se soluções em que  $w_{cl} = w_c$ , ou seja, a abertura das capelas laterais é igual à abertura da capela-mor. E, na coluna da direita,  $w_{cl} = 11/12 w_c$ . Dependendo do comprimento da cela, foram testadas as adições de 3, 5 e 7 pares de capelas.

As plantas com linha de contorno vermelho não verificam as condições descritas nas regras. Tratam-se de composições em que a dimensão da ossatura, relativamente à abertura das capelas laterais, não verifica o *ratio* descrito por tratado. Isto é, situações em que a condição  $1/5 \leq \phi' \leq 1/3 \vee \phi' = 1/2$  é uma proposição falsa, e portanto, ilegítima à luz das descrições do *De re aedificatoria*.

Com esta amostra demonstra-se que celas de diferentes dimensões possuem um diferente número de possibilidades compositivas. A cela de proporção  $4/9$ , por exemplo, apenas pode acomodar 3 pares de capelas laterais quando a abertura da capela-mor é ampla ( $w_c = 4/6w_i$ ) e as aberturas das capelas laterais adotam o *ratio* menor ( $w_{cl} = 11/12w_c$ ).

A *Regra 3. Abertura das capelas laterais* é constituída por três regras de forma. Este conjunto de regras subtrai segmentos das linhas longitudinais do perímetro da cela, nas partes correspondentes às aberturas das capelas laterais. A *Regra 3a* transforma a linha inicial pela subtração do espaço correspondente à abertura da capela lateral mais próxima da cabeceira. A *Regra 3b* subtrai o tramo da linha correspondente à abertura das capelas laterais subsequentes, ao longo da linha de parede restante. A *Regra 3c* renomeia o ponto final da última abertura.

A *Regra 3a* introduz as etiquetas  $p3$  e  $p3'$ , definindo o ponto inicial da abertura, para alojamento da capela lateral, à distância de uma ossatura ( $w_s$ ) das etiquetas  $p1$  e  $p1'$ , respetivamente, e introduzindo duas novas etiquetas, também simétricas,  $px$  e  $px'$ . Estas últimas etiquetas correspondem ao ponto final da abertura e ao início da linha da parede restante (Figura 41).

A *Regra 3b* transforma as linhas das paredes restantes, referenciadas no seu ponto inicial pelas etiquetas  $px$  e  $px'$ , subtraindo-lhes um tramo de reta correspondente à abertura das capelas subsequentes, deslocando as etiquetas  $px$  e  $px'$  para os pontos iniciais das novas linhas, e adicionando novas etiquetas,  $p3$  e  $p3'$ , às novas extremidades das linhas existentes (Figura 42).

Após a abertura da última capela lateral, a *Regra 3c* substitui as etiquetas  $px$  e  $px'$ , por  $p3$  e  $p3'$ , respetivamente. E deste modo, termina a definição das aberturas das capelas laterais, identificando nas etiquetas  $p2$  e  $p3$ , e  $p2'$  e  $p3'$ .

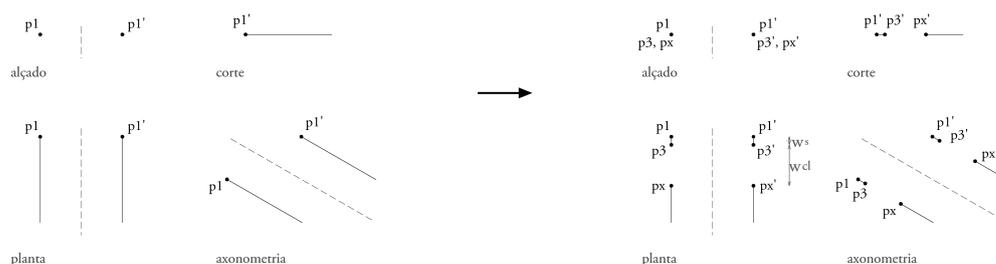


Figura 41. Regra 3a. Abertura da primeira capela lateral.

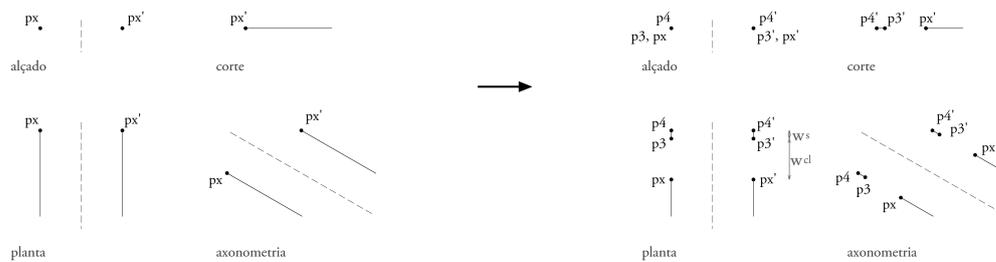


Figura 42. Regra 3b. Abertura das capelas subsequentes.

### Regras 4 e 5. Geometrias das capelas

A Regra 4. Delineamento da capela-mor e Regra 5. Delineamento de capelas laterais terminam o primeiro estágio da gramática. Ambas, têm a função de adição da geometria das capelas, encerrando a linha de contorno do espaço interno dos templos.

Alberti prevê que a geometria da planta da capela-mor seja semicircular (Regra 4a), ou quadrangular (Regra 4b) (VII, 4, 5). A dimensão da capela-mor de geometria semicircular sintetiza-se no seu raio ( $r_c$ ), sendo equivalente a metade da abertura da capela:  $r_c = 1/2 w_c$ . Alberti recomenda que os lados da capela-mor seja todos iguais (VII, 4, 6), pelo que a dimensão da sua profundidade ( $l_c$ ) será igual à dimensão da abertura:  $l_c = w_c$ .

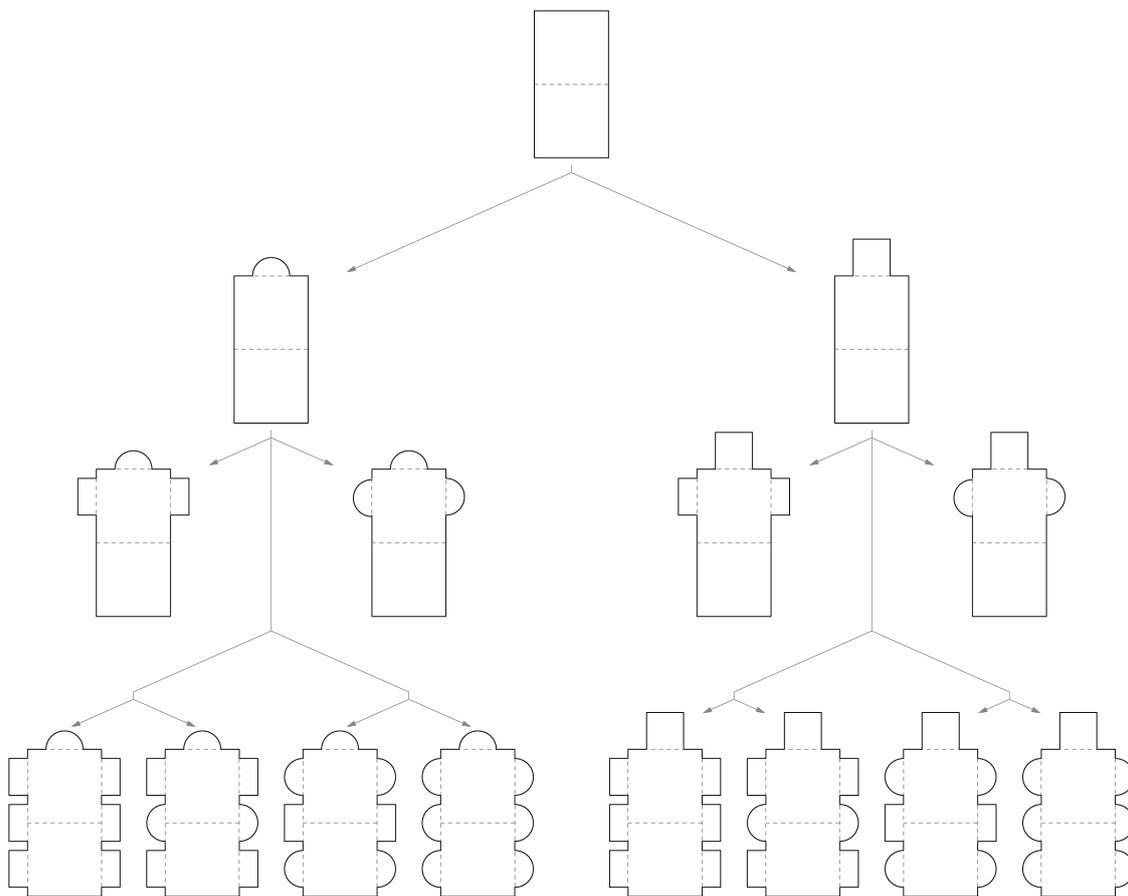


Figura 43. Variação morfológica da planta de templo retangular, na proporção 2:1, conforme adição de capela-mor e capelas laterais.

Similarmente, as capelas laterais podem ser semicirculares (*Regra 5a*), ou retangulares (*Regra 5b*). Contudo, a relação entre a largura e profundidade ( $l_{cl}$ ) é de 2:1, pelo que  $l_{cl} = 1/2 w_{cl}$  (VII, 4, 6).

Relativamente à escolha das geometrias a adotar, Alberti afirma que as capelas situadas frente a frente devem ser semelhantes. Mas, quando adicionadas mais do que um par de capelas laterais, as suas geometrias podem misturar-se alternadamente.

Na Figura 43, ilustra-se a variação morfológica das plantas de templos, na proporção 2:1. Esta variação depende da composição formal, contemplar a existência, ou não, de capela-mor, e capelas laterais. Representam-se plantas com apenas um par de capelas laterais, e com três pares de capelas. E experimentam-se ainda variações morfológicas pela combinação das diferentes geometrias das capelas. A Figura 44 representa o esquema para o delineamento planimétrico da capela-mor e capelas laterais, nas suas diferentes geometrias, e para aplicação das condições descritas mais acima.

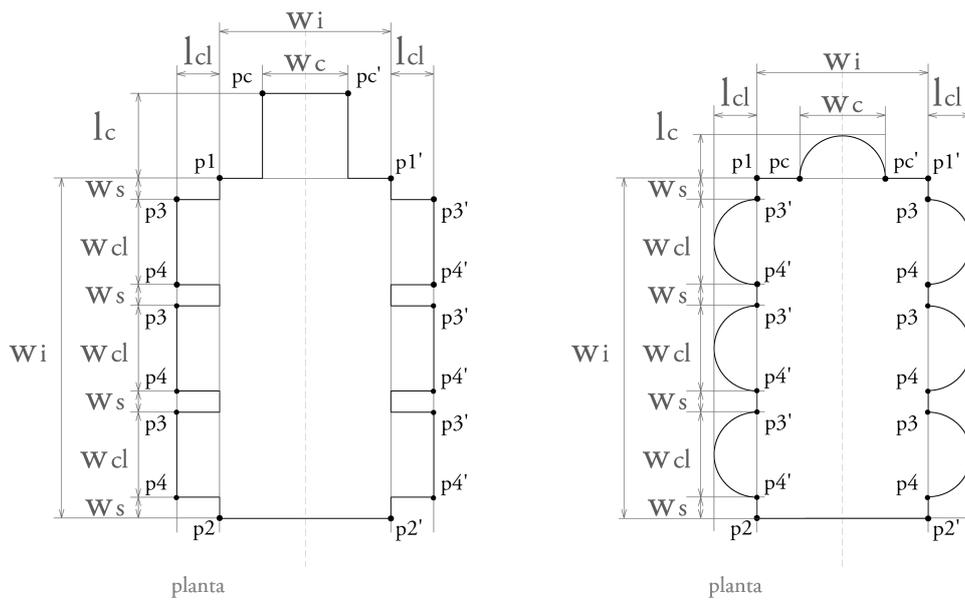


Figura 44. Plantas esquemáticas ilustrativo de parâmetros e geometrias para a adição de capelas de geometria retangular e semicircular.

A *Regra 4a* e a *Regra 5a* propõem relações espaciais idênticas. A primeira introduz um semicírculo côncavo para o interior da cela, colocado entre as linhas do tardoz, isto é, com extremidades coincidentes com pontos  $pc$  e  $pc'$ . A segunda adiciona dois semicírculos, ambos côncavos para o interior da cela e no alinhamento das fachadas laterais. As extremidades dos círculos são coincidentes com os pontos  $p_3$  e  $p_4$ , e  $p_3'$  e  $p_4'$ , respetivamente.

A *Regra 4b* e a *Regra 5b* também operam relações espaciais idênticas. A primeira introduz um polígono quadrado, com um lado aberto, localizado nos pontos  $pc$  e  $pc'$  de forma inicial. A segunda, relativa às capelas laterais, introduz dois polígonos retangulares (1:2), simétricos em relação à linha axial do templo, que tomam como pontos de referência à sua localização os pontos  $p_3$  e  $p_4$ , e  $p_3'$  e  $p_4'$ , respetivamente. Os polígonos colocam-se no perímetro exterior da cela, abertos no lado coincidente com esse perímetro. Finalmente, em ambas as regras, os pontos de referência  $pc$ ,  $pc'$ ,  $p_3$ ,  $p_4$ ,  $p_3'$  e  $p_4'$ , deslocam-se para os vértices opostos do polígono. Esta deslocação tem o objetivo de servirem de etiquetas às regras que se sucedem.

Interessa referir que a opção da definição de duas regras para a adição da capela-mor e outras duas para a adição das capelas laterais, justifica-se na diferença formal das relações espaciais implícitas à adição de um semicírculo e de um retângulo, que não é de âmbito paramétrico.

Posto isto, e uma vez que os templos retangulares acomodam, no máximo, uma capela-mor, o utilizador da gramática terá que optar por uma das regras. Relativamente às capelas laterais, o número de iterações depende do número de pares de capelas laterais e o utilizador poderá aplicar diversas vezes a mesma regra, ou alternar entre as duas regras, no caso de desejar uma variação formal, conforme exemplificado na Figura 43 .

Ao contrário do que sucede na *Regra 1*, nas *Regras 2 e 3* não se representa a totalidade do edifício, mas, apenas as partes onde decorre a transformação espacial. Este processo de composição, em que as regras de forma operam em partes do projeto, isolando a sua representação do todo, repete-se na grande maioria das regras. Ainda que este processo mais abstracto, por se isoladas as regras não se relacionam com o todo, permite otimizar a estrutura da gramática, uma vez que determinadas regras podem-se aplicar uma ou diversas vezes, consoante a configuração morfológica que o utilizador da gramática pretenda derivar.

Este aspeto é mais representativo de situações onde exista uma repetição de operações. Por exemplo, por cada iteração das regras relativas à abertura e adição de capelas laterais à cela, adiciona-se apenas um par de capelas. No caso da existência de mais pares do que um par de capelas, o utilizador deverá repetir o processo para as restantes capelas. Deste modo, a *Regra 5a* e *Regra 5b*, são suficientes para a derivação de qualquer número de capelas. A alternativa consistiria no desenvolvimento de regras em que numa única iteração se adicionassem à totalidade das capelas, obrigando à predefinição de regras específicas para a adição de 1, 3, 5, ou mais, pares de capelas. essa opção resultaria numa estrutura menos frugal e fora do espírito generativo da linguagem arquitetónica desenvolvida no *De re aedificatoria* por limitar a aplicação de princípios combinatórios.

### 3.2.3.2. Delineamento das paredes

*Delineamento das Paredes*, é um estágio cujo processo generativo tem o objetivo de determinar perímetro exterior do edifício, exceptuando o pórtico. Esta área servirá de referência à implantação do(s) pórtico(s), bem como ao desenvolvimento volumétrico do edifício. Este estágio é constituído por dois conjuntos de regras, a *Regra 6. Adição da espessura das paredes da cela e capelas* e a *Regra 7. Ligação de paredes das capelas e da cela*. No total são constituídas por 16 regras (7 e 9, respetivamente).

O primeiro conjunto de regras providencia a generalidade das ferramentas formais para a adição de linhas correspondentes ao paramento exterior das paredes. O segundo conjunto de regras providencia ferramentas formais para que a linha contorno do paramento exterior seja contínua, isto é, corresponda às linhas máximas da área.

#### *Regra 6. Adição da espessura das paredes da cela e capelas*

No subcapítulo 4.1.4.4. *Paredes e Cobertura* reportamos dois métodos propostos por Alberti para a definição da espessura das paredes ( $t_w$ ): o primeiro método, por analogia à proporção das colunas, na

relação do seu diâmetro ( $d_{col}$ ) com a altura ( $h_{col}$ ) (ver Figura 45); o segundo método, mais determinístico, em que a espessura das paredes deve corresponder a 1/9 ou 1/12 da largura da área (ver Figura 46) (VII, 10, 3).

O primeiro método obriga à definição prévia da altura da cela e à seleção do sistema de composição de colunas. Na estrutura recursiva da  $GF_A$ , esse conhecimento é intrínseco a regras de estágios generativos mais avançados, designadamente, a *Regra 10. Extrusão de Paredes*, pertencente ao estágio 4. *Extrusão de paredes*, e à *Regra 12. Adição de proto-coluna*, pertencente ao estágio 5. *Pórtico*.

Não obstante, este facto não impede que o utilizador integre o conhecimento dessas regras, designadamente os parâmetros e condições da sua aplicação, para o cálculo da espessura das paredes. A Figura 45 esquematiza o cálculo da espessura da parede da cela pela dependência de parâmetros e condições que definem a altura das paredes e o sistema de colunas (ver Tabela 6).

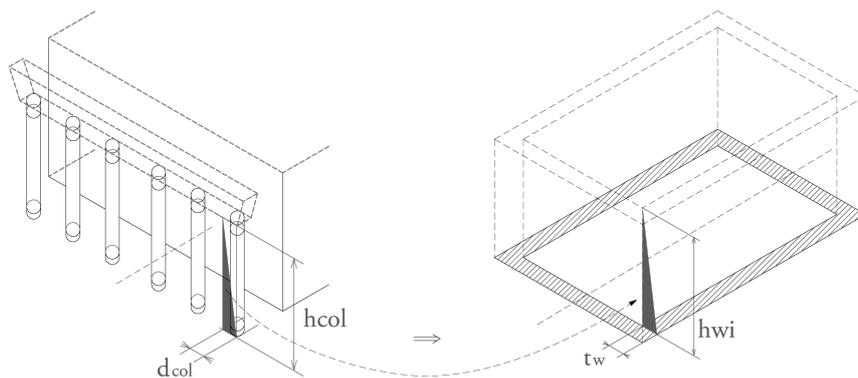


Figura 45. Esquema ilustrativo da relação entre a espessura das paredes da cela e a proporção das colunas

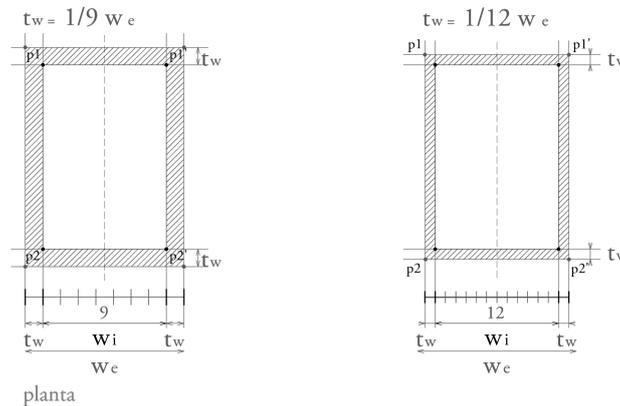


Figura 46. Esquema ilustrativo do dimensionamento da espessura das paredes da cela calculadas por *rationes* da largura da área.

A *Regra 6. Adição da espessura das paredes da cela e capelas* é constituída por um conjunto de sete regras de forma. Estas regras têm três aspetos em comum: (1) Os parâmetros e condições da sua aplicação para o cálculo da espessura das paredes. (2) O tipo de transformação espacial que propõem caracteriza-se pela adição de segmento(s) de linha(s) paralelo(s) à linha de contorno do interior do edifício, e distante(s) na medida da espessura da parede. (3) Os pontos de referência (etiquetas) que

identificam as diferentes partes da composição deslocam-se para as novas linhas, localizando-se na mesma posição, relativamente à forma inicial.

As sete regras distinguem-se por desenvolverem relações espaciais específicas. Por exemplo, a regra para o desenho da parede do tardo com uma capela-mor quadrada (*Regra 6e*) difere formalmente da regra que constrói uma parede com uma capela semicircular (*Regra 6d*). O mesmo aplica-se às capelas laterais. Similarmente, o tardo e fachadas laterais com capelas adossadas são formalmente muito distintos de panos de fachada sem qualquer volume adossado (*Regra 6a* e *Regra 6b*, respetivamente). Em síntese, estas sete regras permitem a adição de espessura das paredes nas várias relações espaciais e formais que a forma inicial pode configurar ao nível planimétrico.

### *Regra 7. Ligação de paredes das capelas e da cela*

O *De re aedificatoria* não contém descrições relativas à ligação das paredes das capelas laterais às paredes da cela, nas suas diversas morfologias e pontos de contacto. Contudo, dada a natureza dos edifícios, supõe-se que esta relação seja o mais contínua possível.

Determinada a espessura das paredes e adicionadas as linhas do paramento exterior, das diversas partes do templo (*Regra 6*), verifica-se a necessidade de ajustar os pontos de intersecção destes elementos. Identificadas onze possíveis relações espaciais para resolução da parede exterior do edifício, procedeu-se ao desenvolvimento de onze regras de forma que visam a ligação das paredes das capelas laterais às restantes paredes do templo.

Uma vez que não se tratam de regras de forma de funcionamento paramétrico, não são descritos parâmetros e condições para a sua aplicação.

No conjunto de *Regras 7* aplicam-se dois tipos de transformações formais: a adição de segmentos de linhas para a ligação de pontos extremos de duas partes do edifício (*Regra 7a*, *Regra 7b*, *Regra 7c*, *Regra 7f* e *Regra 7i*); a subtração de segmentos de linhas em situações de justaposição de duas partes do edifício (*Regra 7d*, *Regra 7e*, *Regra 7g*, *Regra 7h*, *Regra 7j* e *Regra 7l*). Situações em que na extremidade dos segmentos subtraídos existam pontos de referência, estes não desaparecem, mas deslocam-se para a nova extremidade (*Regra 7e*, *Regra 7h*, e *Regra 7l*).

Importa ainda referir que algumas destas regras beneficiam da natureza simétrica do templo, especificamente no eixo transversal do templo, e relativamente aos pontos de referência as capelas laterais. Assim, na *Regra 7a*, *Regra 7b*, *Regra 7i*, *Regra 7j* e *Regra 7l*, os pontos p3 e p4, e os pontos p3' e p4' poderão permutar as suas posições e, deste modo operar em relações espaciais simétricas.

### *3.2.3.3. Delineamento do pórtico*

O estágio *Delineamento do(s) pórtico(s)* divide-se em duas fases. A primeira consiste na localização e dimensionamento global da(s) colunata(s) que compõem o(s) pórtico(s), pela aplicação das *Regras 8. Localização do(s) Pórtico(s)*. A segunda permite a disposição das colunas ao longo das diversas colunatas, através da *Regra 9. Distribuição de colunas*.

No processo de derivação de soluções, prevê-se que no final deste estágio, todos os pórticos e colunas estejam representadas planimetricamente, bem como pontos de referência para a inserção das colunas ( $0_c$ ).

*Regras 8 e 9. Localização do(s) Pórtico(s) e Distribuição de colunas*

No âmbito do subcapítulo 3.1.4.2. *Pórtico*, referimos que Alberti considera a possibilidade de adição de pórticos a todas as fachadas do templo (frontaria, tardoz e fachadas laterais), desde que não tenham capelas salientes e na condição da existência de pórtico na frontaria (VII, 5, 1). Os pórticos podem estar adossados ou soltos das paredes das fachadas. Tendo em consideração estas condições, a Figura 47 ilustra as 16 diferentes combinações possíveis para a localização e disposição de pórticos no perímetro dos templos.

Vejamos agora os diferentes parâmetros e condições para a inferência das regras de localização do pórtico. A profundidade do pórtico depende da sua disposição. A profundidade de um pórtico adossado ( $l_{port}$ ) à parede é nula:  $l_{port} = 0$ . Porém, se o pórtico for solto da parede, a sua profundidade resulta da soma do diâmetro das colunas ( $d_{col}$ ) e intercolúnios ( $i$ ), na razão do número de colunatas ( $m_{col}$ ). Nesta última disposição, os pórticos laterais só podem ser constituídos por uma única colunata:  $m_{col} = 1$ . Contudo, os pórticos da frontaria e tardoz<sup>118</sup> podem acomodar mais do que uma colunata, desde que a profundidade do pórtico ( $l_{port}$ ) não exceda um terço do comprimento do templo ( $le$ ) (VII, 5, 2). A Tabela 7 resume as condições para o cálculo da profundidade dos pórticos nas diferentes localizações e disposições dos pórticos.

Tabela 7. Profundidade dos pórticos, tendo em consideração a sua localização e disposição relativamente às paredes

Disposição Localização do pórtico	Adossado à parede	Solto da parede
frontaria e tardoz	$l_{port} = 0$ $m_{col} = 1$	$l_{port} = m_{col} (d_{col} + i)$ $m_{col} \in \mathbb{N} \rightarrow l_{port} \leq 1/3 le$
fachadas laterais	$l_{port} = 0$ $m_{col} = 1$	$l_{port} = d_{col} + i$ $m_{col} = 1$

A largura do pórtico ( $w_{port}$ ) poderá corresponder à largura da fachada que ornamenta, ou, prolongar-se nas extremidades, na razão de um intercolúnio. Esta extensão verifica-se em situações onde exista continuidade entre o pórtico em questão, e pórticos de fachadas adjacentes. Das 16 combinações esquematizadas na Figura 47, em apenas 8 pelo menos um dos pórticos excede as dimensões do extradorso das paredes da cela.<sup>119</sup>

<sup>118</sup> “Nos templos quadrangulares, o pórtico da frontaria não deve ser em parte nenhuma mais pequeno do que a largura total do templo, e em parte nenhuma será mais profundo do que um terço do comprimento. Nos pórticos laterais dos templos, as colunas ficarão distantes dos muros da cela o espaço do intercolúnio. No tardoz, o pórtico imitará aquele que quiseres de entre os que referimos.” (VII, 5, 2)

<sup>119</sup> Na Figura 44 ver as plantas da: 2ª linha: 2, 3 e 4; 3ª linha: 3 e 4; 4ª linha: 2, 3 e 4.

A largura de um pórtico resulta da soma dos diâmetros das colunas ( $d_{col}$ ), cujo número deverá ser par ( $n_{col}$ ), com a dimensão da totalidade de intercolúnios ( $i$ ), que serão em número impar ( $n_{col}-1$ ). A notação algóritmica desta operação corresponde à seguinte equação:  $w_{port} = n_{col} d_{col} + (n_{col}-1)i$ .

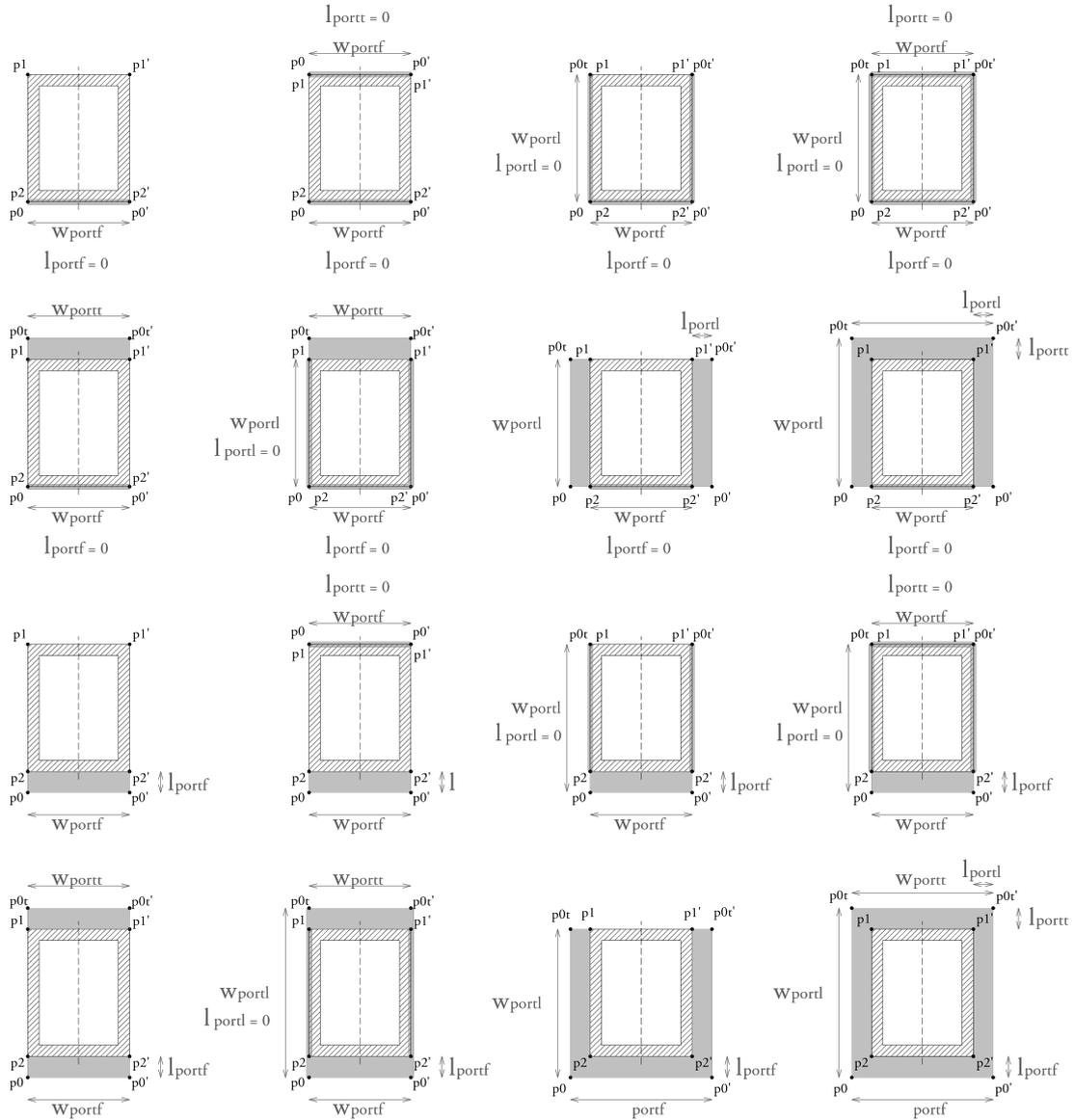


Figura 47. Plantas esquemáticas das possíveis configurações de pórticos nos templos retangulares. As linhas espessas de cor cinzenta, indicam fachadas com pórticos adossados. As áreas sombreadas a cinzento indicam pórticos soltos das fachadas.

“No que diz respeito a estas proporções aconselham o seguinte. Façam-se os intercolúnios em número ímpar; não se coloquem colunas senão em número par; faça-se mais larga que as restantes a abertura do meio que está de frente para a porta; onde os intercolúnios têm de ser mais estreitos, empreguem-se colunas mais finas; nos intervalos mais largos, usem-se colunas mais grossas. Portanto, a espessura das colunas será regulada pelos intervalos e os intervalos pelas colunas, em particular segundo as leis seguintes. Em cada uma destas classes, os intervalos que ficarem ao meio far-se-ão mais largos, de modo a excederem os restantes em uma quarta parte. Assim eles nos aconselham.(...) Nas obras compactas, os intervalos não serão mais estreitos do que uma espessura e meia da coluna; nas obras ampliadas, não terá mais que três espessuras e três oitavos de uma coluna; nas obras elegantes, terá duas espessuras e um quarto; nas obras subcompactas, serão atribuídas duas espessuras, e nas subampliadas três.” (VII, 5, 8)

Este excerto do tratado detém a descrição textual necessária ao cálculo do intercolúnio. Alberti prevê cinco tipos de intercolúnios, diferenciando-os pelo *ratio* que tomam do diâmetro das colunas. Constan das seguintes designações e *raciones*: compacto,  $i = 3/2 d_{col}$ ; subcompacto,  $i = 2 d_{col}$ ; elegante,  $i = 9/4 d_{col}$ ; subampliado,  $i = 3 d_{col}$ ; ampliado,  $i = 27/8 d_{col}$ . Excepcionalmente, no caso dos pórticos da frontaria e tardoz, Alberti adverte que o intercolúnio central ( $i_c$ ) deve ser  $1/4$  mais amplo de que os restantes intercolúnios, ou seja:  $i_c = 5/4 i$ .

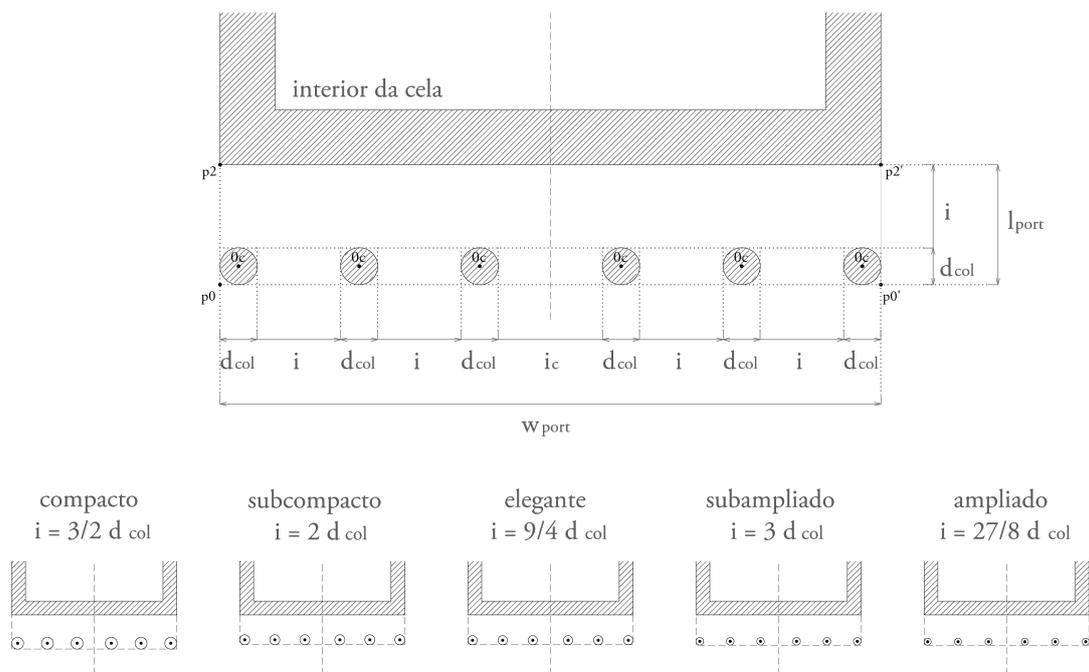


Figura 48. Em cima, esquema planimétrico dos diversos componentes de um pórtico da frontaria. Em baixo, plantas de cinco pórticos da frontaria, compostos por seis colunas, cujas variações correspondem à aplicação dos cinco tipos de intercolúnios.

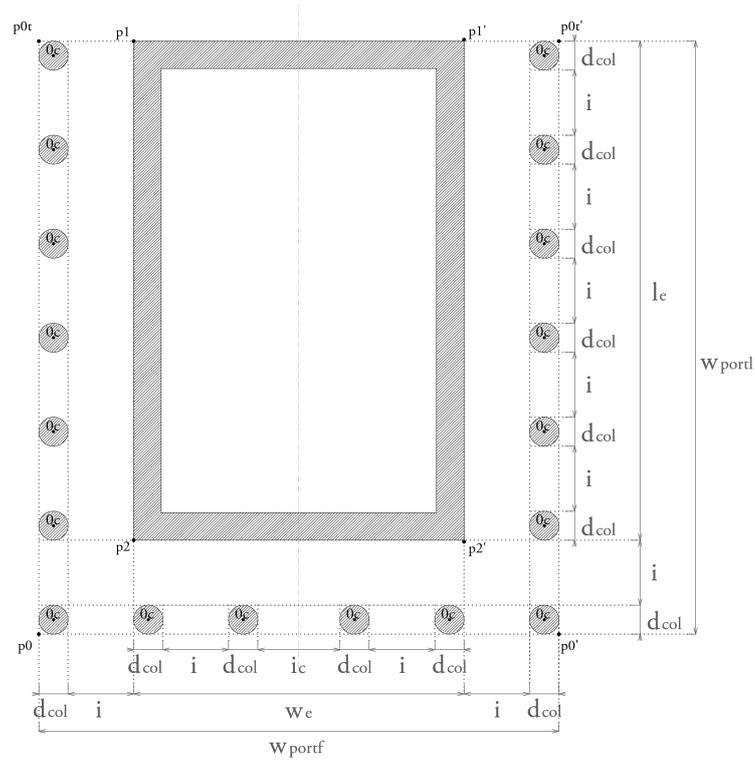
largura dos pórticos

frontaria:

$$m_{col}=2 \Rightarrow W_{portf} = W_e + 2 d_{col} i$$

fachadas laterais:

$$m_{col}=1 \Rightarrow W_{portl} = l_e + d_{col} i$$



largura dos pórticos

frontaria e tardo:

$$m_{col}=2 \Rightarrow W_{portf} = W_e + 2 d_{col} i$$

$$W_{portt} = W_{portf}$$

fachadas laterais:

$$m_{col}=2 \Rightarrow W_{portl} = l_e + 2 d_{col} i$$

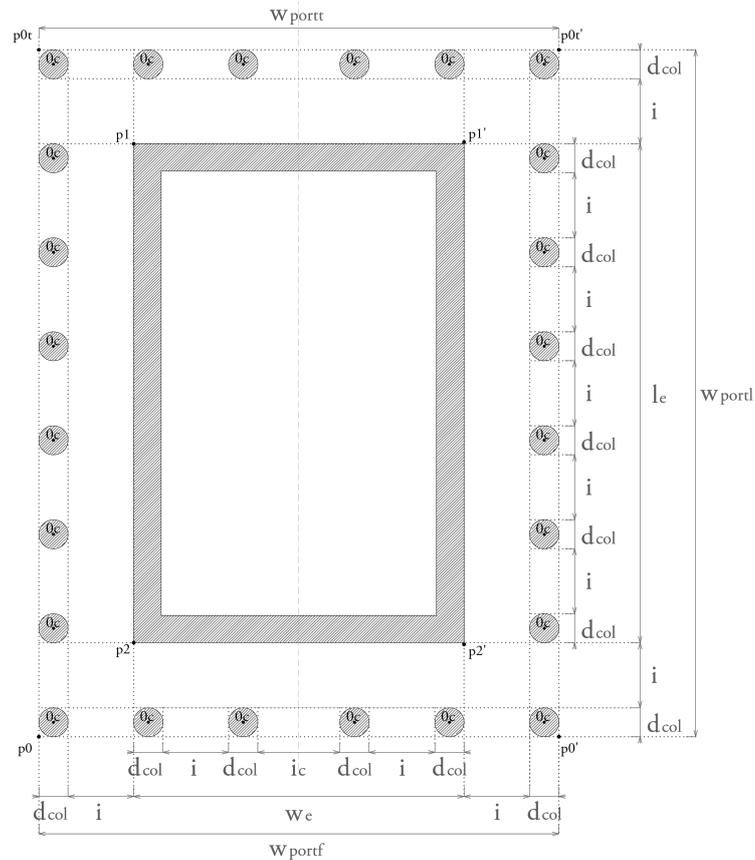


Figura 49. Dois exemplos da disposição de pórticos soltos das paredes da cela. Em cima, os pórticos da frontaria e fachadas laterais prolongam-se para que haja continuidade entre os três pórticos. Em baixo, dispõem-se pórticos soltos em todo o perímetro da cela, cujos prolongamentos resultam na continuidade de pórticos em todo o perímetro do templo.

A Figura 48 ilustra a variação da densidade das colunas pela aplicação dos diferentes tipos de intercolúnios. Neste caso, tratam-se de variações sobre um pórtico da frontaria, compostos por seis colunas. Com efeito, a notação algorítmica para o cálculo do intercolúnio pode sintetizar-se no produto do conjunto de *rationes* ( $\delta$ ) com o diâmetro das colunas:

$$\left\{ \begin{array}{l} i = \delta d_{col} \\ i_c = 5/4 \delta d_{col} \\ \delta \in \{3/2, 2, 9/4, 3, 27/8\} \end{array} \right.$$

Conforme referido, propõe-se o cálculo da largura do pórtico ( $w_{port}$ ) pelo somatório das suas partes. A largura do pórtico poderá ser igual à largura da fachada,<sup>120</sup> ou maior, se as suas extremidades se estenderem para além da fachada. A dimensão desta extensão obtém-se pelo cálculo do produto do número de colunatas soltas dos pórticos adjacentes ( $m_{col}'$ ), com a soma das dimensões do intercolúnio ( $i$ ) e do diâmetro das colunas ( $d_{col}$ ) (Figura 49). Com efeito, em notação algorítmica, a largura do pórtico pode-se derivar do seguinte modo:

$$\left\{ \begin{array}{l} w_{port} = w_e + m_{col}' (i + d_{col})^{120} \\ i = \delta d_{col} \end{array} \right. \Leftrightarrow w_{port} = w_e + m_{col}' d_{col} (\delta + 1)$$

Neste estágio de derivação de soluções, o utilizador terá herdado as dimensões do extradorso das paredes da cela ( $w_e$  e  $l_e$ ) devendo decidir: (a) a configuração dos diversos pórticos, nomeadamente, o número de colunatas soltas dos diversos pórticos ( $m_{col}$ ); (b) o número de colunas por pórtico ( $n_{col}$ ); (c) o tipo de intercolúnio ( $\delta$ ). Esta informação permitirá derivar o diâmetro das colunas ( $d_{col}$ ).

O cálculo do diâmetro das colunas infere-se a partir das dimensões dos templos ( $w_e$  e  $l_e$ ). Se não existirem colunatas soltas em pórticos contíguos ao pórtico que se pretende inferir, isto é, se  $m_{col}' = 0$ , a largura do pórtico corresponde à largura da fachada do templo, isto é, a totalidade de colunas e intercolúnios que compõem o pórtico distribuem-se na amplitude da fachada (ver Figura 48, em cima).

Por outro, no caso da presença de colunatas soltas em pórticos contíguos ( $m_{col}' > 0$ ) ao pórtico que se pretende inferir, este será mais largo do que a respetiva fachada. Deste modo, o número de colunas e intercolúnios que se distribuem na amplitude da largura do templo, será menor do que os seus totais, na quantidade de  $m_{col}'$ , e correspondente a  $(n_{col} - m_{col}')$  e  $(n_{col} - 1 - m_{col}')$ , respetivamente.

Tendo em consideração as diversas condições descritas previamente, a função para cálculo do diâmetro das colunas do pórtico e frontaria, onde se considera a variável do intercolúnio central, derivou-se do seguinte modo:

$$\left\{ \begin{array}{l} w_{port} = w_e + m_{col}' (i + d_{col}) \\ w_{port} = n_{col} d_{col} + (n_{col}-2)i + i_c \end{array} \right. \Leftrightarrow d_{col} = [w_e - (n_{col} - m_{col}' - 2) i - i_c] / (n_{col} - m_{col}') \Rightarrow \dots$$

<sup>120</sup> No caso da frontaria e tardoaz corresponderem à largura do templo pelo extradorso das paredes ( $w_e$ ). No caso de pórticos das fachadas laterais, corresponde ao comprimento do templo, medido pelo extradorso das paredes ( $l_e$ ).

$$\Leftrightarrow \begin{cases} d_{col} = [w_e - (n_{col} - m_{col}' - 2) i - i_c] / (n_{col} - m_{col}') \\ i = \delta d_{col} \\ i_c = 5/4 i \end{cases} \Leftrightarrow d_{col} = w_e / [(\delta + 1) (n_{col} - m_{col}') - 3/4 \delta]$$

A inferência da função para cálculo do diâmetro das colunas dos pórticos laterais, obteve-se pelo seguinte processo:

$$\begin{cases} w_{port} = w_e + m_{col}' (i + d_{col}) \\ w_{port} = n_{col} d_{col} + (n_{col}-1)i \end{cases} \Leftrightarrow d_{col} = [w_e - (n_{col} - m_{col}' - 1)i] / (n_{col} - m_{col}') \Leftrightarrow \dots$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} d_{col} = [w_e - (n_{col} - m_{col}' - 1)i] / (n_{col} - m_{col}') \\ i = \delta d_{col} \end{cases} \Leftrightarrow d_{col} = w_e / [(\delta + 1) (n_{col} - m_{col}') - \delta]$$

A *Regra 8. Localização do(s) Pórtico(s)* é constituída por um conjunto de dez regras de forma. Este conjunto divide-se em três tipos de regras. As *Regras 8a, 8b e 8c* são relativas à inserção de pórticos adossados às paredes. As *Regras 8d, 8e, 8f, 8g e 8h* introduzem pórticos soltos das fachadas do templo. As *Regras 8i e 8j* destinam-se à introdução de mais do que uma colunata nos pórticos da frontaria e tardez, respetivamente.

As três primeiras regras caracterizam-se pela representação de um segmento de reta de cor cinzento, mais espessa do que as restantes, e que assinala a localização do respetivo pórtico. As extremidades desta reta são representadas por pontos, identificando os limites dos pórticos, e necessários à regra subsequente: *Regra 9. Distribuição de colunas*. A designação destes pontos varia com a posição que ocupam no perímetro do edifício.

Por exemplo, na *Regra 8a. Adossado à frontaria*, os pontos  $p_0$  e  $p_0'$  assinalam as extremidades do segmento reta que localiza o pórtico colocado sob a frontaria (Figura 50).

Na *Regra 8b. Adossado ao tardez*, os pontos  $p_{0t}$  e  $p_{0t}'$  assinalam as extremidades do segmento reta que localiza o pórtico colocado sob o tardez.

Finalmente, na *Regra 8c. Adossados às fachadas laterais*, uma vez que se localizam dois pórticos, as extremidades destes segmentos assinalam-se com os pontos  $p_0$  e  $p_{0t}$ , e ainda, dada relação simétrica, os pontos  $p_0'$  e  $p_{0t}'$ .

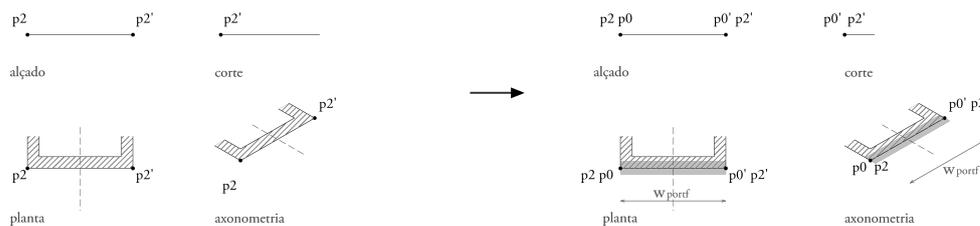


Figura 50. *Regra 8a. Adossado à frontaria*

Em suma, os pontos  $p_0$ ,  $p_0'$ ,  $p_{0t}$  e  $p_{0t}'$  têm a função de assinalar as extremidades dos pórticos. A combinação  $p_0p_0'$  localiza a linha máxima do pórtico da frontaria;  $p_{0t}p_{0t}'$  localiza a linha máxima do pórtico do tardo;  $p_{0pt}$  localiza a linha máxima do pórtico da fachada esquerda;  $p_0'p_{0t}'$  localiza a linha máxima do pórtico da fachada direita.

O segundo grupo de regras é específico à localização e representação de pórticos soltos das fachadas. Estas cinco regras de forma, juntamente com as três iniciais, têm o objetivo de permitir a derivação de todas as soluções possíveis (ver Figura 47).

Se os pórticos adossados representam-se apenas com uma linha, dada a natureza dos pórticos soltos, em que a sua profundidade não é nula, a sua representação faz-se por polígonos fechados, preenchidos a cinzento. Estes polígonos assinalam a área onde se localiza o pórtico. De acordo com os parâmetros e condições específicos dos pórticos soltos, esta área corresponde à largura e profundidade dos respetivos pórticos.

De modo similar às três primeiras regras, as *Regras 8d, 8e, 8f, 8g e 8h* adicionam-se os pontos  $p_0$ ,  $p_0'$ ,  $p_{0t}$  e  $p_{0t}'$  com a função de assinalarem as extremidades dos pórticos. Porém, estas extremidades já não coincidem com os vértices do extradorso das paredes da cela ( $p_1$ ,  $p_1'$ ,  $p_2$  e  $p_2'$ ), mas com os vértices exteriores do polígono que delimita a área do pórtico. Os polígonos limite das áreas dos pórticos encerram-se nos vértices do perímetro do edifício.

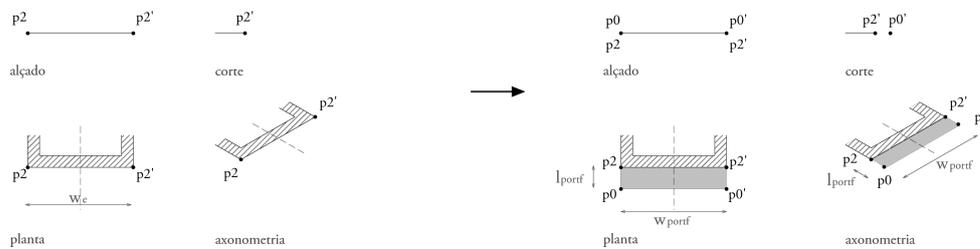


Figura 51. Regra 8d. Solto da frontaria

Para explicitarmos este processo, tome-se como exemplo a *Regra 8d. Solto da frontaria*. Esta regra de forma caracteriza-se por adicionar um polígono retangular, preenchido à cor cinzenta, e os pontos  $p_0$  e  $p_0'$ . A localização destes pontos é determinada pelos parâmetros relativos à profundidade do pórtico ( $l_{porf}$ ) e largura do pórtico ( $w_{porf}$ ), e assinalam o limite exterior da área do pórtico. Estes pontos, juntamente, com os pontos  $p_2$  e  $p_2'$ , conformam os vértices do polígono da área do pórtico.

Tal como explicitado para as três primeiras regras, os segmentos de reta  $p_0p_0'$ ,  $p_{0t}p_{0t}'$ ,  $p_{0pt}$  e  $p_0'p_{0t}'$ , têm a função de localizarem as linhas máximas dos pórtico da frontaria, tardo e fachadas laterais, respetivamente.

As *Regras 8i e 8j* destinam-se à adição de colunatas em áreas que localizam pórticos da frontaria e tardo, soltos da parede e desde que a dimensão da profundidade do pórtico seja menor ou igual a um terço do comprimento do templo ( $l_{porf} \leq 1/3 l_e$ ). Estas regras caracterizam-se pela adição de pontos que definem as extremidades de linhas máximas de novas colunatas.

A *Regra 8i*, relativa ao pórtico, adiciona os pontos  $p_0$  e  $p_0'$ , distantes de  $p_0$  e  $p_0'$ , pontos herdados de iterações anteriores, na medida de um intercolúnio ( $i$ ) e um diâmetro da coluna ( $d_{col}$ ) (Figura 52). A *Regra 8j* é similar à regra anterior, diferenciando-se apenas na designação dos pontos de inserção, sendo  $p_{0t}$  e  $p_{0t}'$ .

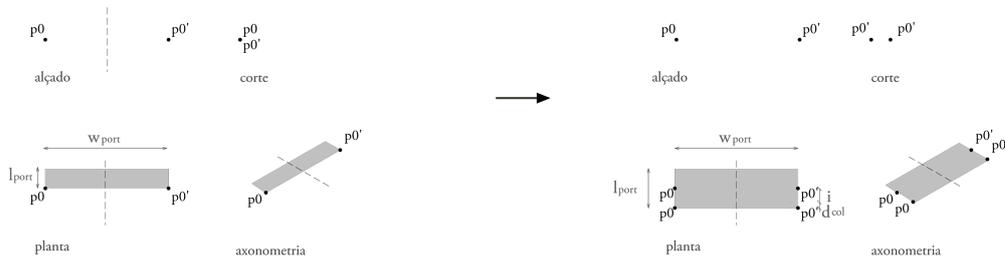


Figura 52. *Regra 8i. Definição da profundidade do pórtico da frontaria*

A *Regra 9. Distribuição de colunas* é constituída por seis regras de forma. Estas regras têm o objetivo de derivar a geometria (planimétrica) das colunas que configuram todos os pórticos do templo. O lado esquerdo da regra de forma é descrito por formas e etiquetas herdados do conjunto de *Regras 8*, isto é, as retas e polígonos cinzentos que localizam os diferentes pórticos, bem como os pontos representativos das extremidades de uma colunata. Nas *Regras 9*, estes pontos servem de referência à adição de uma circunferência representativa do diâmetro de uma coluna, e um ponto no centro desse diâmetro ( $0_c$ ). Os pontos  $p_0$  e  $p_0'$ , descritores de uma colunata do pórtico da frontaria, são relativos às *Regras 9a* e *9d*. Os pontos  $p_{0t}$  e  $p_{0t}'$ , descritores de uma colunata do pórtico do tardoz, são utilizados nas *Regras 9b* e *9e*. E, os pontos  $p_0$  e  $p_0'$ , descritores de colunatas das fachadas laterais, são utilizados nas *Regras 9c* e *9f*.

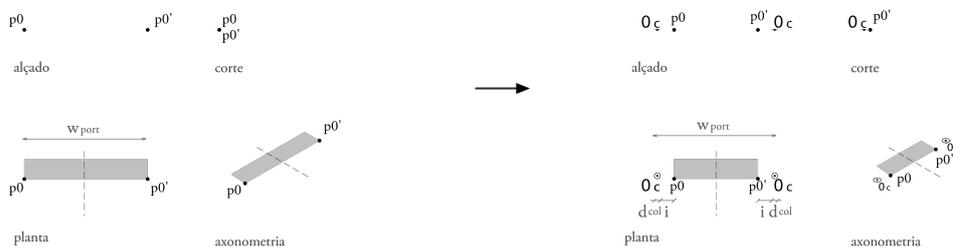


Figura 53. *Regra 9a. Adição de pontos axiais das colunas do pórtico da frontaria*

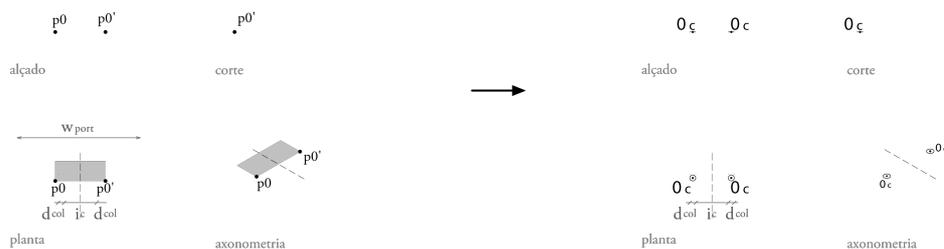


Figura 54. *Regra 9e. Final da adição de pontos axiais das colunas do pórtico da frontaria, em que:  $p_0 \rightarrow \emptyset$ ;  $p_0' \rightarrow \emptyset$ .*

Nas três primeiras regras, *Regras 9a, 9b e 9c*, ocorrem ainda dois tipos de operações. (1) Os pontos de referência deslocam-se no sentido do ponto médio da colunata, na medida do intercolúnio e do diâmetro da coluna. (2) Na medida da deslocação dos pontos de referência das colunas, encurtam-se as retas e polígonos cinzentos referentes à localização e dimensão do pórtico.

As *Regras 9d, 9e e 9f* têm como função terminar o processo de adição de colunas a uma colunata, nomeadamente pela adição dos seus elementos centrais, o apagamento dos pontos de referência,  $p_0, p_0', p_0t$  e  $p_0t'$ , e o apagamento das restantes linhas e polígonos cinzentos.

A título de exemplo, o processo de derivação de uma colunata de 8 colunas, localizada no pórtico da frontaria, consiste em 3 iterações da *Regra 9a*, (Figura 53) e uma iteração da *Regra 9e* (Figura 54), para finalizar o processo.

#### 3.2.3.4. *Extrusão das Paredes*

As regras de forma do quarto estágio da gramática prevêem a *Extrusão das Paredes* do templo. Este estágio é composto por seis regras de forma, dividindo-se na *Regra 10. Extrusão das paredes da cela*, no conjunto de *Regras 11. Extrusão das paredes das capelas* (constituído por quatro regras de forma) e na *Regra 12. Extrusão do pódio*.

A *Regra 10* consiste na extrusão das linhas que delimitam o intradorso e extradorso das paredes da cela. Similarmente, as *Regras 11* contemplam a extrusão das linhas do intradorso e extradorso das paredes dos diferentes tipos e geometrias de capelas. O conjunto de operações formais previstas nestas regras caracterizam-se pela adição das volumetrias das paredes, designadamente, por planos verticais resultantes da extrusão das linhas de contorno das paredes do edifício. Formalmente, introduz-se pela primeira vez na gramática de vista axonométrica álgebras  $U_{ij}$ , em que  $i$  e  $j > 2$ , referentes aos planos representativos da tridimensionalidade das paredes.

Por último, a *Regra 12* considera o polígono que encerra as linhas de contorno do extradorso das paredes da cela e da área de implantação dos pórticos, para a sua extrusão no sentido oposto ao do crescimento das paredes.

#### *Regra 10. Extrusão das paredes da cela*

Herdada a geometria bidimensional das paredes, introduzem-se os parâmetros relativos ao cálculo da altura das paredes permitindo a extrusão dessa geometria. Nos subcapítulos 3.1.4.4. *Paredes e Cobertura* e 3.1.4.6. *A dimensão edificatória dos números*, referimos os métodos propostos por Alberti para a inferência da altura do paramento interior das paredes da cela. Alberti propõe que essa altura ( $h_i$ ) corresponda a um *ratio* ( $\mu_i$ ) da largura da cela ( $w_i$ ):  $h_i = \mu_i w_i$ .

A dedução dos *rationes* propostos por Alberti dividem-se em quatro momentos descritivos:

(1) No cap.10 do Livro VII, por analogia a proporções de templos circulares, são considerados os *rationes*  $1/2$ ,  $2/3$ ,  $3/4$  e  $11/14$  para o cálculo da altura das paredes dos templos retangulares. A este conjunto, Alberti, acrescenta o *ratio* um, em que a altura das paredes corresponde à largura da cela, na condição de: “(...) haver celas ao longo do muro de um e outro lado da área”. (VII, 10, 4-5) Sintetizamos este conjunto de *rationes* do seguinte modo:

$$\mu_0 \in \{1/2, 2/3, 3/4, 11/14, 1\}.$$

(2) No cap. 6 do Livro IX, Alberti estende a utilização de proporções harmônicas (IX, 5, 13-14) para a inferência da altura das paredes de templos, cujas plantas delimitem-se em proporções duplas, triplas e quadruplas<sup>121</sup>(IX, 6, 3-4). Com efeito, para as proporções duplas propõe os *rationes* de 3/2 e 4/3 ( $\mu_1$ ), para as proporções triplas, *rationes* de 4/2 e 3/2 ( $\mu_2$ ), e para as proporções quadruplas, *rationes* de 4/2, 3/2 e 6/3 ( $\mu_3$ ). A notação algorítmica destas condições corresponde a:

$$\mu_1 \in \{3/2, 4/3\} \rightarrow li/wi = 2$$

$$\mu_2 \in \{4/2, 3/2\} \rightarrow li/wi = 3$$

$$\mu_3 \in \{4/2, 3/2, 6/3\} \rightarrow li/wi = 4$$

(3) Também no cap.6 do Livro IX, são considerados os “princípios constitutivos da delimitação dos cubos” (IX, 6, 6-7)<sup>122</sup> para a inferência da altura das paredes. Alberti propõe “cubos” com os *rationes* de  $\sqrt{1}:\sqrt{2}:\sqrt{3}$  e  $\sqrt{1}:\sqrt{3}:\sqrt{4}$ , no dimensionamento da largura, altura e comprimento da cela, respetivamente. Permitindo ainda comutar as relações deste numerais. (IX, 6, 7) Em suma, as proporções inatas permitem inferir os *rationes*,  $\sqrt{1}/\sqrt{2}$ ,  $\sqrt{3}/\sqrt{1}$ ,  $\sqrt{2}/\sqrt{1}$ ,  $\sqrt{4}/\sqrt{1}$ ,  $\sqrt{1}/\sqrt{3}$  e  $\sqrt{3}/\sqrt{1}$  ( $\mu_4$  a  $\mu_8$ ), tendo que verificar as seguintes condições:

$$\mu_4 = \sqrt{1}/\sqrt{2} \rightarrow li/wi = \sqrt{3}/\sqrt{2}$$

$$\mu_5 = \sqrt{3}/\sqrt{1} \rightarrow li/wi = \sqrt{2}/\sqrt{1}$$

$$\mu_6 \in \{\sqrt{2}/\sqrt{1}, \sqrt{4}/\sqrt{1}\} \rightarrow li/wi = \sqrt{3}/\sqrt{1}$$

$$\mu_7 = \sqrt{1}/\sqrt{3} \rightarrow li/wi = \sqrt{4}/\sqrt{3}$$

$$\mu_8 = \sqrt{3}/\sqrt{1} \rightarrow li/wi = \sqrt{4}/\sqrt{1}$$

(4) Finalmente, Alberti sugere que altura das paredes dos edifícios resulte da média de dois extremos, isto é, da largura e comprimento da área (IX, 6, 8-12)<sup>123</sup>. Tal como referido anteriormente, considera três métodos para o cálculo de mediedade. Posto isto, os *rationes* das mediedades aritmética ( $\mu_9$ ), geométrica ( $\mu_{10}$ ) e harmônica ( $\mu_{11}$ ), estão condicionados pela largura da cela ( $w_i$ ) e o seu comprimento ( $l_i$ ). Estes *rationes* podem ser inferidos pelas seguintes equações:

$$\mu_9 = ((w_i+l_i) / 2) / w_i$$

$$\mu_{10} = \sqrt{w_i l_i} / w_i$$

$$\mu_{11} = (2w_i l_i / (w_i + l_i)) / w_i$$

Em notação simbólica, a variável  $\mu_j$ , que determina o *ratio* entre a altura das paredes e a largura da cela, agrega todos os valores  $\mu$  no índice  $j$ , em que  $j \leq 11$ . Este processo, auxilia à diferenciação das diversas origens do *ratio*, tornando mais explícita a sua origem no momento da derivação.

A Regra 10. *Extrusão das paredes da cela* pressupõe que o utilizador escolha um dos possíveis valores para o *ratio* da altura das paredes ( $\mu_j$ ), para que o lado direito de forma incorpore a volumetria das paredes nas quatro vistas da gramática. Esta operação caracteriza-se pela extrusão dos polígonos

<sup>121</sup> Ver Tabelas 3 e 4 em *Delimitação e proporções harmônicas*, no subcapítulo 3.1.4.6. *A dimensão edificatória dos números*.

<sup>122</sup> Ver *Números irracionais ou proporções harmônicas*, no subcapítulo 3.1.4.6. *A dimensão edificatória dos números*.

<sup>123</sup> Ver *Mediedades: aritmética, geométrica e musical*, no subcapítulo 3.1.4.6. *A dimensão edificatória dos números*.

retangulares que definem o perímetro interno e externo da cela, na razão de  $h_i$ . Estes polígonos estão referenciados pelos pontos correspondentes às suas extremidades:  $p1$ ,  $p1'$ ,  $p2$  e  $p2'$ .

A Figura 55 ilustra esquematicamente a relação espacial aplicada na vista axonométrica da *Regra 10*. Com efeito, verifica-se que na gramática da vista axonométrica, a *Regra 10* introduz pela primeira vez na gramática o recurso a planos tridimensionais, representadas pelas suas arestas visíveis, por linhas, e as arestas invisíveis, por linhas tracejadas. Nas gramáticas do alçado e corte, recorre-se ao mesmo critério para a representação da hierarquia das linhas.

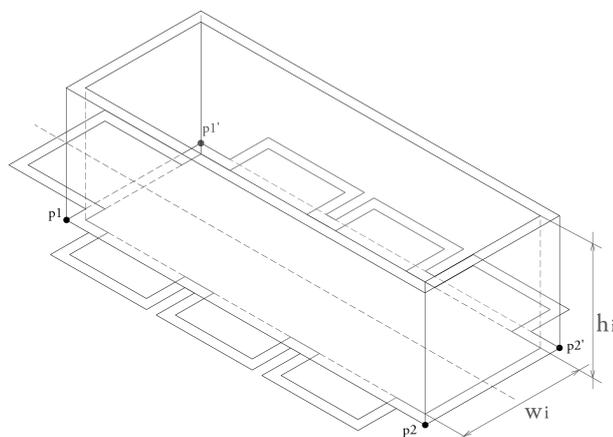


Figura 55. Vista axonométrica de esquema de extrusão das paredes da cela.

A *Regra 10* consiste na extrusão das linhas que delimitam o intradorso e extradorso das paredes da cela. Similarmente, as *Regras 11*, contemplam a extrusão das linhas do intradorso e extradorso das paredes dos diferentes tipos e geometrias de capelas. O conjunto de operações formais previstas nestas regras caracterizam-se pelas volumetrias das paredes constituídas por planos verticais resultantes da extrusão das linhas de contorno das paredes do edifício.

#### *Regras 11. Extrusão das paredes das capelas*

De modo idêntico à *Regra 10*, o lado esquerdo das *Regras 11* herda a geometria bidimensional que delimita as paredes das capelas. Verificada a existência de dois tipos de capelas, a capela-mor e as capelas laterais e, de dois tipos de geometria base, semicircular e retangular, definiram-se quatro regras que abrangem esta variedade: *Regra 11a. Capela-mor de geometria semicircular; Regra 11b. Capela-mor de geometria retangular; Regra 11c. Par de capelas laterais semicirculares; Regra 11 d. Par de capelas laterais retangulares.*

Ao contrário do que sucede com as paredes da cela, o *De re aedificatoria* não contém descrições relativas à altura das capelas. Para colmatarmos esta “lacuna”, houve necessidade de recorrer a fontes externas ao tratado para a inferência dos parâmetros e condições da extrusão destas paredes. Posto isto, deduzem-se relações lógicas de associação das capelas ao corpo do templo, tendo em

consideração as suas partes constituintes, bem como exemplos construídos. Deste modo, tiveram-se como referência relações espaciais das igrejas de San Sebastiano e Sant'Andrea de Alberti.

Antes, importa referir que a altura das capelas ( $h_c$ ) corresponde à soma da altura das suas paredes ( $h_{cwi}$ ) com a altura do arco de abertura das capelas ( $h_{cva}$ ):  $h_c = h_{cwi} + h_{cva}$ . E que, a altura do arco de abertura das capelas ( $h_{cva}$ ) equivale a metade da largura da capela:  $h_{cva} = 1/2 w_c$ .

Na igreja de San Sebastiano verifica-se que as alturas das paredes da capela-mor ( $h_{cwi}$ ) e capelas laterais ( $h_{clwi}$ ) correspondem à altura do paramento interior das paredes da cela ( $h_{wi}$ ), onde se dá o arranque dos arcos da abóbada (Figura 56). Isto é, a altura do ponto de arranque do arco de abertura das capelas é coincidente com a altura do ponto de arranque do tecto em abóbada. Esta relação altimétrica, entre as paredes da cela e as paredes das capelas, só é possível porque a atual cobertura de São Sebastião é uma abóbada de arestas.<sup>124</sup> Uma cobertura em abóbada de berço não permitiria que a altura das paredes das capelas laterais fosse coincidente com a altura das paredes da cela.

Como no *De re aedificatoria* não existe qualquer alusão à utilização de abóbadas de aresta ou cúpulas para a cobertura de templos, as paredes das capelas laterais não poderão adotar uma altura correspondente à altura da cela.<sup>125</sup> Na obrigatoriedade da cobertura ser em abóbada de berço, esta configuração apenas pode ser adotada na capela-mor, onde o pano de parede que a acomoda ergue-se até ao ponto de fecho do arco da abóbada (correspondente à aduela central, ou chave), libertando espaço suficiente para a abertura de uma capela com paredes cuja altura se eleva até à pedra imposta da abóbada.

Esta análise sugere que altura das paredes da capela-mor ( $h_{cwi}$ ) pode ser igual à altura das paredes da cela ( $h_{wi}$ ):  $h_{cwi} = h_{wi}$ .



Figura 56. Igreja de São Sebastião: à esquerda, fotografia do interior da nave, lado Sul; à direita, parte do alçado do interior da nave, colocando em evidência relação entre a altura das paredes das capelas laterais e as paredes da nave.

<sup>124</sup> Ainda que hoje, a cela esteja coberta por uma abóbada de arestas, evidências documentais sugerem que Alberti terá projetado uma cúpula, a este propósito ver o subcapítulo 4.2.2. *Igreja de San Sebastiano*.

<sup>125</sup> Este facto, associado à possibilidade de Alberti ter previsto uma cúpula para a cobertura de São Sebastião, sugere que Alberti pretendia introduzir na sua obra edificada, uma relação espacial que no tratado não havia considerado, no que diz respeito à cobertura de templos retangulares.

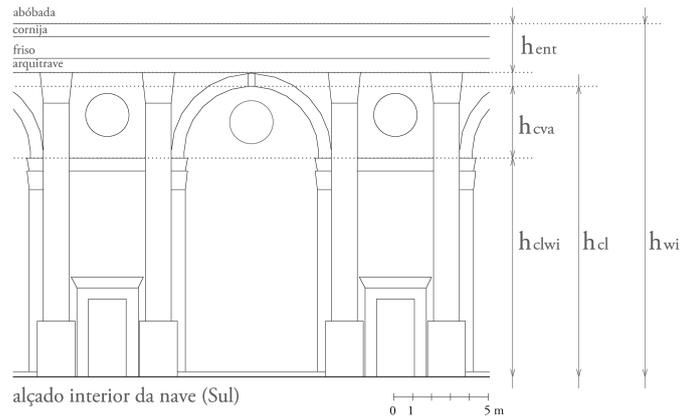
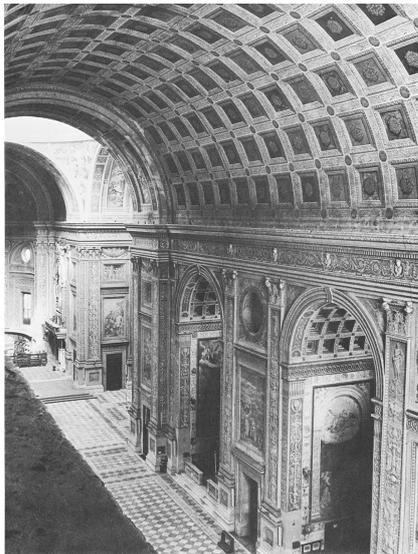


Figura 57. Igreja de Sant'Andrea: à esquerda, fotografia (Johnson, 1975, p. 134) do interior da nave, lado Sul; à direita, parte do alçado do interior da nave, colocando em evidência relação entre a altura das paredes das capelas laterais e as paredes da nave.

Da igreja de Sant'Andrea infere-se uma segunda relação espacial entre as capelas laterais e a nave. A aduela de fecho do arco de arranque da abóbada das capelas é tangente à face inferior da arquitrave do entablamento do pórtico da fachada interior (Figura 57). Por sua vez, a face superior da cornija do entablamento é coincidente com o limite superior do paramento interno da cela, pelo que a altura das paredes das capelas laterais ( $h_{clwi}$ ) corresponde à altura das paredes da cela ( $h_{wi}$ ) subtraído de: (a) o entablamento do pórtico da fachada interior ( $h_{ent}$ )<sup>126</sup>; (b) a altura da aduela de fecho do arco ( $h_{cva}$ ); e (c) a flecha do arco ( $h_{cl}$ ). Em notação simbólica, a altura das capelas laterais de Sant'Andrea calcula-se do seguinte modo:  $h_{clwi} = h_{wi} - h_{ent} - h_{cva} - h_{cl}$ .

Esta relação espacial e as condições da sua aplicação podem ainda ser adotadas na extrusão das paredes da capela-mor. Se às descrições inferidas pela análise das capelas de S. Sebastiano, adicionarmos as descrições relativas às capelas de Sant'Andrea, as condições para o cálculo da altura das paredes da capela-mor sintetizam-se em:  $h_{cwi} = h_{wi} - \varepsilon$ ; em que:  $\varepsilon \in \{0, h_{ent} - h_{cva} - h_{cl}\}$

Tal como na regra anterior, as *Regras 11. Extrusão das paredes das capelas cela* caracterizam-se pela extrusão das geometrias das linhas de contorno das paredes das capelas, na razão de  $h_{cwi}$ , para a *Regra 11a. Capela-mor de geometria semicircular* e *Regra 11b. Capela-mor de geometria retangular* e, na razão de  $h_{clwi}$ , para a *Regra 11c. Par de capelas laterais semicirculares* e *Regra 11d. Par de capelas laterais retangulares*.

Nas duas primeiras regras, as linhas de contorno das paredes da capela-mor estão referenciadas pelos pontos  $pc$   $pc'$ . Nas duas últimas regras, as linhas de contorno das paredes de ambos os pares das capelas laterais estão referenciadas pelos pontos  $p3p4$  e  $p3'p4'$ , respetivamente. As quatro regras prevêem que os pontos de referência desloquem-se para a cota superior das paredes. Esta des-

<sup>126</sup> A altura do entablamento do pórtico interior ( $h_{ent}$ ) é dependente do sistema de colunas utilizado no pórtico, e segue as condições e parâmetros descritas no âmbito da *Regra 13. Adição de Entablamento*.

locação permitirá que estes pontos sirvam de marcadores à adição das coberturas das capelas, conforme se verificará nas descrições relativas ao *Estágio 6. Adição de Coberturas*.

A Figura 58 ilustra esquematicamente a relação espacial em vista axonométrica, implícita à *Regra 11b* e à *Regra 11d*, ambas relativas à extrusão de capelas de geometria retangular.

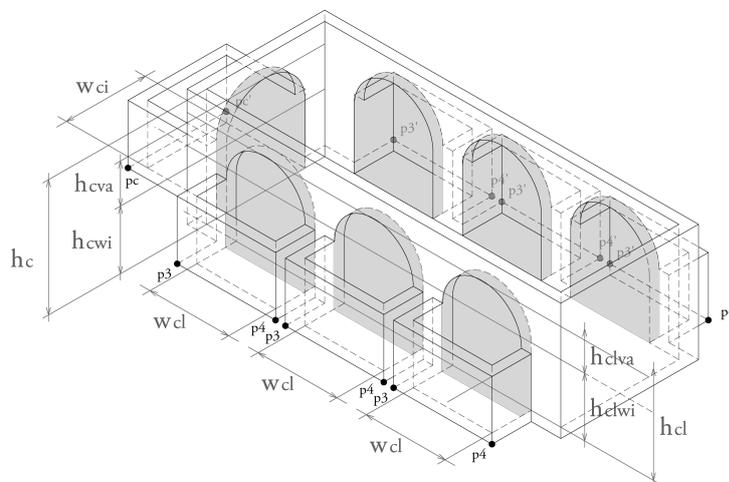


Figura 58. Vista axonométrica de esquema de extrusão das paredes das capelas.

### *Regras 12. Extrusão do pódio*

A adição do pódio ao perímetro edificado dos templos tem a função de o colocar em evidência relativamente à sua envolvente.

Em conformidade com o exposto no capítulo anterior e com a descrição textual da *Regra 12. Extrusão de pódio* (ver *Anexo I. Gramática dos Edifícios Sagrados de planta retangular*), a transformação formal que esta regra opera consiste na extrusão do perímetro externo do templo, incluindo as áreas relativas aos pórticos. A dimensão dessa extrusão, isto é, a altura do pódio ( $h_{po}$ ) toma uma parte da largura do templo ( $w_e$ ). O utilizador da gramática deverá considerar um dos *rationes* descritos por Alberti. O *ratio* poderá ser de um sexto, ou um sétimo, no caso de templos maiores, ou ainda, um nono, no caso de templos muito grandes.

Estas condições sintetizam-se numa expressão:  $h_{po} = \omega w_e$ . E, no conjunto:  $\omega \in \{1/6, 1/7, 1/9\}$ . Formalmente, a *Regra 12* toma como referência os pontos que delimitam o perímetro do templo, para a adição de um volume sob a área do templo e respetivos pórticos.

#### *3.2.3.5 Adição do Pórtico*

O estágio *Adição do Pórtico*, prevê a derivação das partes de pórticos de arquitrave e frontão. Divide-se em quatro regras de forma, específicas a cada uma das partes constituintes de um pórtico: proto-colunas (*Regra 13*); proto-pedestal (*Regra 14*); proto-entablamento (*Regra 15*); proto-frontão (*Regra 16*). Esta ordem é representativa da ordem descritiva do tratado, mas também da dependência das partes.

### Regra 13. Adição de proto-colunas

A primeira regra deste estágio, *Regra 13. Adição de proto-colunas*, permite a derivação e adição de proto-colunas. No subcapítulo 3.1.4.3. *Sistematização da coluna: Coluna (fuste, base e capitel)* compilou-se a informação necessária para o dimensionamento das partes das colunas, isto é, do capitel, fuste e base.

Como se referiu nesse contexto, o sistema da coluna supõe que as dimensões das colunas variem com o género, ou estilo, de cada uma dessas partes e prevê a possibilidade de combinação de géneros. O diâmetro da coluna, herdado do *Estágio 3. Delineamento do pórtico*, constitui a medida de referência para o dimensionamento das partes da coluna. Tendo em consideração os diferentes género sde ornamento, a Tabela 8, sintetiza as proporções que as partes da coluna tomam do diâmetro da coluna, para o dimensionamento das suas alturas.

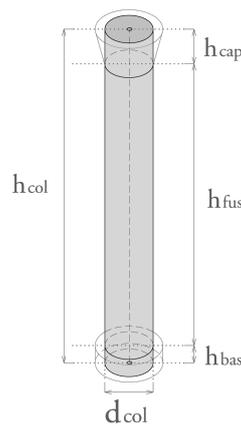


Figura 59. Esquema da proto-coluna, simplificando a representação das suas partes (capitel, fuste e base).

A Figura 59 representa esquematicamente a proto-coluna, ilustrando o processo de simplificação formal do conjunto capitel, fuste e base, numa única geometria cilíndrica. Formalmente, propõe-se que a proto-coluna represente-se num cilindro com o diâmetro da coluna ( $d_{col}$ ) e, uma altura ( $h_{col}$ ) equivalente ao somatório das alturas do capitel ( $h_{cap}$ ), fuste ( $h_{fus}$ ) e base ( $h_{bas}$ ).

Como exposto na Tabela 8, aos diferentes géneros de ornamento correspondem *rationes* diferentes para o cálculo da altura do capitel e fuste. Por este motivo, em termos de descrição simbólica, desenvolvemos conjuntos que agrupam esta diversidade de *rationes*. Nomeia-se de  $\lambda_{cap}$  o conjunto que contém os diferentes *rationes* para o cálculo da altura do capitel, e de  $\lambda_{fus}$  o conjunto relativo ao fuste. Por outro lado, o *ratio* para o cálculo da altura da base é constante nos diversos géneros de ornamento, correspondendo sempre à metade do diâmetro da coluna. Em notação algorítmica, estas condições sintetizam-se do seguinte modo:

$$h_{col} = h_{cap} + h_{fus} + h_{bas}$$

$$h_{bas} = 1/2 d_{col}$$

$$h_{cap} = \lambda_{cap} d_{col}; \lambda_{cap} \in \{1/2, 3/4, 1/3, 1\}$$

$$h_{fus} = \lambda_{fus} d_{col}; \lambda_{fus} \in \{7, 8, 9\}$$

Tabela 8. Síntese das alturas dos componentes para a sistematização da coluna e pórtico, na razão do diâmetro da coluna (dcol).

Gêneros Componentes	Dórico	Jônico	Coríntio	Compósito
Capitel	1/2 dcol ou 3/4 dcol	1/3 dcol	dcol	dcol
Fuste	7 dcol	9 dcol ou 8 dcol*	8 dcol ou 9 dcol*	9 dcol
Base	1/2 dcol	1/2 dcol		-

\* inferido do Livro IX

A *Regra 13. Adição de proto-colunas* prevê que o utilizador selecione o género, ou géneros, de ornamentos que caracterizam as partes das colunas. A soma das suas alturas, equivalente à altura da proto-coluna ( $h_{col}$ ) corresponderá à dimensão da extrusão das circunferências relativas aos diâmetros das colunas.

O lado esquerdo da regra de adição de proto-colunas é composto por esta circunferência e pelo ponto de referência do seu centro ( $0_c$ ). No lado direito da regra adiciona-se a representação de um cilindro, correspondente ao volume global da proto-coluna, bem como, um ponto de referência do centro da face superior do cilindro ( $0'_c$ ).

#### *Regra 14. Adição de proto-pedestal*

Em continuidade com o exposto no subcapítulo 3.1.4.3. *Sistematização da coluna: pedestal*, a *Regra 14. Adição de proto-pedestal*, caracteriza-se pela derivação e adição de proto-pedestais sob proto-colunas.

Os pedestais são constituídos por um dado, ornamentado na parte superior por um cimácio e, na parte inferior por um soco (VIII, 3, 11). Assim, o processo de inferência das dimensões globais do pedestal, corresponde à soma das dimensões globais destas partes:

(1) a altura do proto-pedestal ( $h_{pe}$ ) calcula-se pela soma da altura do cimácio ( $h_{cim}$ ), com a altura do dado ( $h_{dado}$ ) e a altura do soco ( $h_{soco}$ ):  $h_{pe} = h_{cim} + h_{dado} + h_{soco}$  ;

(2) a largura do proto-pedestal ( $w_{pe}$ ), corresponde à largura do cimácio ( $w_{cim}$ ), ou do soco, um vez que são os elementos mais largos do pedestal :  $w_{pe} = w_{cim}$  .

A altura do dado ( $h_{dado}$ ) determina-se a partir da sua largura, a qual se relaciona com das dimensões da base da coluna ( $w_{bas}$ ). Alberti determina duas possibilidades para o seu dimensionamento da largura do dado ( $w_{dado}$ ): igual à largura da base da coluna ( $w_{bas}$ ) ou, numa versão mais robusta, 1/8 maior do que a largura do plinto da base:  $w_{dado} = \gamma_{wd} w_{bas}$  ;  $\gamma_{wd} \in \{1, 9/8\}$  .

Relativamente à altura do dado ( $h_{dado}$ ), deve ser inferida a partir da largura do dado ( $w_{dado}$ ), podendo adotar duas *rationes*: igual; ou, 5/4 da largura do dado:  $h_{dado} = \gamma_{hd} w_{dado}$  ;  $\gamma_{hd} \in \{1, 6/5\}$  .

As dimensões do cimácio também são dependentes das dimensões da base da coluna e das dimensões do dado. A sua largura ( $w_{cim}$ ) deverá ser maior ou igual à largura da base da coluna ( $w_{bas}$ ):  $w_{cim} = w_{dado} + 2 h_{cim}$  ;

e a altura ( $h_{cim}$ ) corresponderá a  $1/5$  ou  $1/6$  da altura do dado ( $h_{dado}$ ):

$$h_{cim} = \gamma_{hc} h_{dado}; \gamma_{hc} \in \{1/6, 1/5\}.$$

Finalmente, a largura e altura do soco ( $w_{soco}$  e  $h_{soco}$ ), correspondem à largura e altura do cimácio:

$$w_{soco} = w_{cim}; h_{soco} = h_{cim}.$$

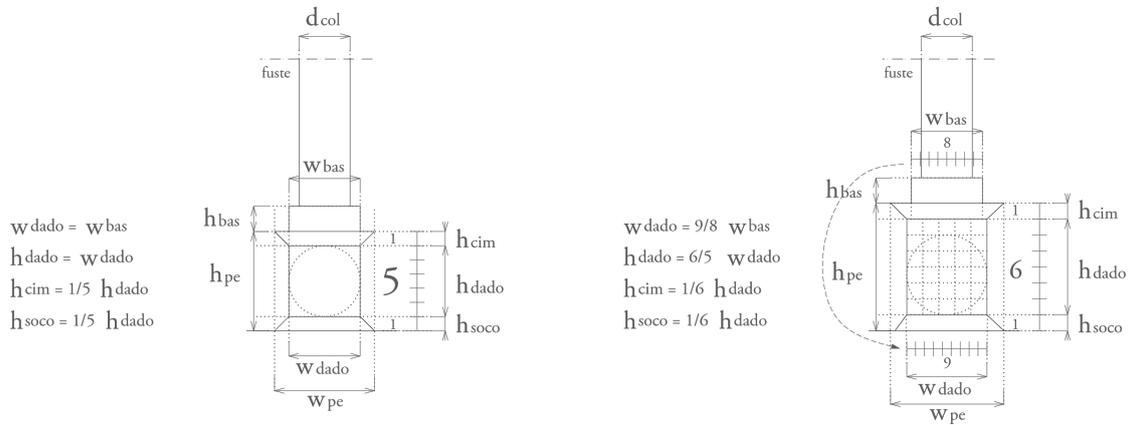


Figura 60. Esquemas para o delineamento do pedestal. Os esquemas são idênticos, mas ilustrados com dimensões das respectivas variáveis, ilustrando duas hipóteses. À esquerda, a largura do dado ( $w_{dado}$ ) é igual à largura do plinto da base da colunas ( $w_{bas}$ ) e as dimensões do cimácio e soco do pedestal corresponde a  $1/5$  da altura da base. À direita, o pedestal tem proporções mais “sólidas”, em que  $w_{dado} = 9/8 w_{bas}$  e a  $h_{dado} = 6/5 w_{dado}$ .

Expostas estas condições, em que a largura e altura do dado podem tomar dois valores (relativos aos conjuntos  $\gamma_{wd}$  e  $\gamma_{hd}$ , respetivamente) existirão quatro soluções possíveis para o dimensionamento do dado. Se a estas variações multiplicarmos os dois *rationes* que o cimácio e soco podem adotar (conjunto  $\gamma_{hc}$ ), conclui-se que o pedestal terá oito dimensões possíveis para uma mesma base da coluna.

A Figura 60 ilustra em vista frontal dois esquemas representativos de duas dessas hipóteses. O esquema à esquerda ilustra a solução de menores dimensões, em que a largura do dado ( $w_{dado}$ ) é igual à largura do plinto da base da colunas ( $w_{bas}$ ) e as dimensões do cimácio e soco do pedestal correspondem a  $1/5$  da altura do dado ( $h_{dado}$ ). À direita, ilustra-se o pedestal de proporções mais “sólidas”, em que  $w_{dado} = 9/8 w_{bas}$  e a  $h_{dado} = 6/5 w_{dado}$ .

Ainda que o nosso trabalho não incida em descrições pormenorizadas da base da coluna dada a dependência do pedestal da largura desta, importa referir que esta dimensão infere-se a partir do diâmetro da coluna e que varia nos sistemas dórico e jónico<sup>127</sup>, respetivamente (Coutinho, 2014). A largura da base dórica corresponde a uma vez e meia do diâmetro da coluna:  $w_{base} = 3/2 d_{col}$ . E, a base jónica, a  $11/8$  do diâmetro da coluna:  $w_{base} = 11/8 d_{col}$ .

A Tabela 9 e a Tabela 10 resumem o processo de cálculo das dimensões máximas do pedestal, isto é, da largura ( $w_{pe}$ ) e altura ( $h_{pe}$ ) do proto-pedestal, quando suportam uma base dórica e jónica, respetivamente. Estas tabelas explicitam as dimensões de cada uma das partes, para os diferentes *rationes* que podem adotar, bem como as dimensões finais das proto-colunas.

<sup>127</sup> Alberti não define apenas estes dois tipos de bases. As suas dimensões foram inferidas por Coutinho (2014), as quais incluímos no cálculo das dimensões do proto-pedestal.

Tabela 9. Processo de cálculo das diferentes dimensões que um pedestal pode tomar quando suporta uma base dórica.

Dimensões do pedestal para coluna de base Dórica => $w_{base} = 3/2 \text{ dcol}$								
parciais								
Wdado Largura do dado	$w_{base} \Rightarrow 3/2 \text{ dcol}$				$1 \frac{1}{8} w_{base} \Rightarrow 27/16 \text{ dcol}$ + solidez			
hdado Altura do dado	$w_{dado} \Rightarrow 3/2 \text{ dcol}$		$1 \frac{1}{5} w_{dado} \Rightarrow 18/10 \text{ dcol}$		$w_{dado} \Rightarrow 27/16 \text{ dcol}$		$1 \frac{1}{5} w_{dado} \Rightarrow 81/40 \text{ dcol}$	
hcm Altura do cimácio	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 3/10 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 1/4 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 18/50 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 3/10 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 27/80 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 27/96 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 81/200 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 81/240 dcol
hsoco Altura do soco	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 3/10 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 1/4 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 18/50 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 3/10 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 27/80 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 27/96 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 81/200 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 81/240 dcol
total								
hpe (altura) hdado+hcm+ hsoc	21/10 dcol	2 dcol	22/10 dcol	32/15 dcol	189/80 dcol	9/4 dcol	567/200 dcol	27/10 dcol
n <sup>os.</sup> reais	2,1 dcol	2 dcol	2,2 dcol	2,1 dcol	2,4 dcol	2,25 dcol	2,8 dcol	2,7 dcol
Wpe (largura) wdado + 2 hcm	21/10 dcol	2 dcol	111/50 dcol	24/10 dcol	189/80 dcol	9/4 dcol	999/400 dcol	189/80 dcol
n <sup>os.</sup> reais	2,1 dcol	2 dcol	2,2 dcol	2,4 dcol	2,4 dcol	2,25 dcol	2,5 dcol	2,4 dcol

Tabela 10. Processo de cálculo das diferentes dimensões que um pedestal pode tomar quando suporta uma base jónica.

Dimensões do pedestal para coluna de base Jónica => $w_{base} = 11/8 \text{ dcol}$								
parciais								
Wdado Largura do dado	$w_{base} \Rightarrow 11/8 \text{ dcol}$				$1 \frac{1}{8} w_{base} \Rightarrow 27/16 \text{ dcol}$ + solidez			
hdado Altura do dado	$w_{dado} \Rightarrow 11/8 \text{ dcol}$		$1 \frac{1}{5} w_{dado} \Rightarrow$ 33/20 dcol		$w_{dado} \Rightarrow 99/64 \text{ dcol}$		$1 \frac{1}{5} w_{dado} \Rightarrow$ 297/160 dcol	
hcm Altura do cimácio	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 11/40 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 11/48 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 33/100 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 11/40 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 99/320 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 33/128 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 297/800 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 99/320 dcol
hsoco Altura do soco	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 11/40 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 11/48 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 33/100 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 11/40 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 99/320 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 33/128 dcol	$1/5 \text{ hdado} \Rightarrow$ 297/800 dcol	$1/6 \text{ hdado} \Rightarrow$ 99/320 dcol
total								
hpe (altura) hdado+hcm+ hsoc	77/40 dcol	11/6 dcol	231/100 dcol	11/5 dcol	693/320 dcol	33/16 dcol	2079/800 dcol	99/40 dcol
n <sup>os.</sup> reais	1,9 dcol	1,8 dcol	2,3 dcol	2,2 dcol	2,2 dcol	2,1 dcol	2,6 dcol	2,5 dcol
Wpe (largura) wdado + 2 hcm	77/40 dcol	11/6 dcol	407/200 dcol	77/40 dcol	693/320 dcol	33/16 dcol	3069/1600 dcol	693/320 dcol
n <sup>os.</sup> reais	1,9 dcol	1,8 dcol	2,0 dcol	1,9 dcol	2,2 dcol	2,1 dcol	1,9 dcol	2,2 dcol

De entre os diversos parâmetros descritos para a *Regra 14. Adição de proto-pedestal*, os parâmetros relativos à coluna (diâmetro da coluna e largura da base) são herdados da *Regra 13*. Os restantes parâmetros, relativos às proporções das partes do pedestal, terão de ser selecionados pelo utilizador, e em conformidade com as condições apresentadas mais acima.

Formalmente, a adição do proto-pedestal caracteriza-se pela adição de um paralelepípedo sob a proto-coluna. A regra de forma consta de duas operações: a adição do proto-pedestal, fazendo coincidir o centro da sua base com o ponto de referência da base da proto-coluna ( $0_c$ ); e, a deslocação vertical da proto-coluna e do ponto central da sua face superior ( $0_c'$ ) na medida da altura do proto-pedestal.

#### *Regra 15. Adição de proto-entablamento*

A *Regra 15* caracteriza-se por derivar o(s) proto-entablamento(s) sobre a(s) colunata(s) para travamento de todas as colunas e garante estrutural do(s) pórtico(s).

De acordo com o referido no subcapítulo 3.1.4.3. *Sistematização da coluna: Entablamento*, o entablamento é constituído por uma arquitrave, trave e cornija. A arquitrave assenta sobre os capiteis das colunas, a trave pousa sobre arquitrave e a cornija constitui o remate superior do entablamento. Em concordância com as descrições do entablamento, mencionadas no capítulo anterior, a Figura 61 ilustra esquematicamente a simplificação do entablamento num proto-entablamento.

Com efeito, propõe-se um volume trapezoidal que ocupe o volume total do entablamento, em que a largura da face inferior do proto-entablamento ( $w_{ent}$ ) é igual à largura da colunata, e do pórtico ( $w_{port}$ ) e, à sua profundidade ( $l_{ent}$ ), faz-se corresponder ao diâmetro das proto-colunas ( $d_{col}$ ). A largura da face superior do proto-entablamento ( $w_{ent}'$ ) deduz-se da largura da cornija ( $w_{cor}$ ) e eleva-se na medida da altura do proto-entablamento ( $h_{ent}$ ).

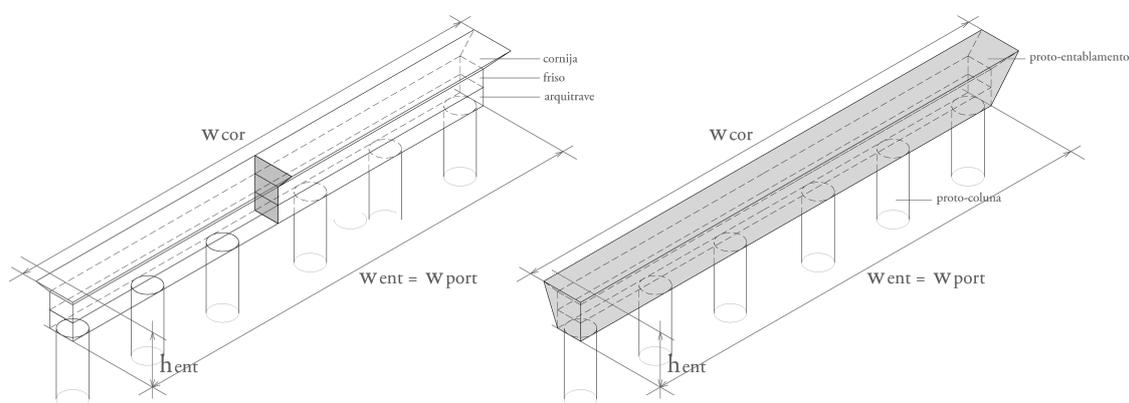


Figura 61. À esquerda, vista de entablamento segmentado nas suas partes (arquitrave, trave e cornija). À direita, esquema do proto-entablamento, simplificando a representação das suas partes num volume trapezoidal

No *Estágio 3. Delineamento do pórtico* localizam-se os diferentes pórticos e colunatas que circundam o perímetro do templo, aos quais corresponde a localização planimétrica dos entablamentos. Com a adição das proto-colunas e proto-pedestais (*Regras 13 e 14*) determina-se a altura para a colocação

do entablamento. Posto isto, resta inferir a altura do proto-entablamento ( $h_{ent}$ ) e a largura da sua face superior, correspondente à cornija. A largura da cornija ( $w_{cor}$ ) excede a largura do pórtico na medida das suas saliências. Segundo Alberti (VII, IX, 2), estas saliências devem corresponder à medida da altura da cornija ( $h_{cor}$ ). Como ambas as extremidades da cornija estão salientes, a largura total calcula-se na seguinte expressão:  $w_{cor} = w_{port} + 2 h_{cor}$ .

Como narrado no capítulo anterior, Alberti propõe a divisão em módulos a totalidade da altura do entablamento ( $h_{ent}$ ), estabelecendo fracções desta medida para o cálculo da altura das suas partes. Este fraccionamento toma diferentes *rationes* entre os géneros dórico e jónico.

A altura do entablamento dórico divide-se em 48 módulos, em que 16 destes módulos são atribuídos aos componentes da cornija, isto é, a altura e saliência da cornija dórica corresponde a 1/3 da altura do entablamento (Morolli & Guzzon, 1994, pp. 66-70). No entablamento jónico, a cornija toma 20 módulos de 51 (Morolli & Guzzon, 1994, pp. 71-75), nos quais se divide a totalidade da altura do entablamento<sup>128</sup>. O que significa que a altura cornija corresponde a aproximadamente 2/5 da altura do entablamento. Se considerarmos os *rationes* relativos ao entablamento dórico e jónico, a altura da cornija sintetiza-se em:

$h_{cor} = \kappa' h_{ent}$ ;  $\kappa' \in \{1/3, 2/5\}$  (em que  $\kappa'$  constitui o conjunto de *rationes* que a cornija toma pela variação do sistema de coluna).

Relativamente à totalidade da altura do entablamento, no que diz respeito ao género dórico, mede dois diâmetros das colunas (VII, 9, 1-8), enquanto que a altura do entablamento jónico equivale a duas vezes e um sexto do diâmetro das colunas (VII, 9, 12). A altura do entablamento coríntio assemelha-se à altura do entablamento jónico (VII, 9, 13). Em notação algóritmica este conjunto de condições representa-se do seguinte modo:  $h_{ent} = \kappa d_{col}$ ;  $\kappa \in \{2, 2 \frac{1}{6}\}$  (em que  $\kappa$  constitui o conjunto de *rationes* que o entablamento pode tomar pela variação do sistema de coluna).

Tabela 11. Síntese das alturas do entablamento e cornija, na razão do diâmetro da coluna ( $d_{col}$ ).

Géneros	Dórico	Jónico	Coríntio
Componentes			
Entablamento	2 $d_{col}$	2 $\frac{1}{6} d_{col}$	
Cornija	$\frac{2}{3} d_{col}$	$\frac{13}{15} d_{col}$	

A *Regra 15. Adição de proto-entablamento* consta de duas operações. A primeira, de carácter formal, adiciona um volume trapezoidal, correspondente à geometria do proto-entablamento, conforme condições descritas mais acima, colocando-o sobre as colunas, e ao longo de cada uma das colonatas do pórtico. Os volumes das colunas e entablamentos dependem de parâmetros cuja variação cor-

<sup>128</sup> Na composição do entablamento jónico, Alberti considera que tanto a arquitrave, como a trave, dividem-se em 9 partes, sendo que o conjunto de três faixas da arquitrave correspondem a 12 módulos. A estes 12 módulos, faz corresponder 7 das 9 partes da arquitrave. Finalmente, considera 20 módulos para a composição das partes da cornija. Se 12 módulos correspondem a 7 partes, a altura total do entablamento (as 9 partes da arquitrave, mas as 9 partes da trave, mais os 20 módulos da cornija) corresponderá a aproximadamente 51 módulos.

responde aos diferentes géneros dos sistemas de colunas. A localização do proto-entablamento decorre da identificação dos pórticos herdados de estágios prévios, pelos pontos  $p_0$  e  $p_0'$ , no caso do pórtico da frontaria,  $p_{0t}$  e  $p_{0t}'$ , para o pórtico do tardoz e,  $p_0$  e  $p_{0t}$  e,  $p_0'$  e  $p_{0t}'$ , para o par de pórticos laterais. A segunda operação consiste na adição dos pontos  $p_{0c}$  e  $p_{0c}'$ , nas extremidades da cornija do entablamento. Estes pontos servirão de referência à regra de forma que adiciona um frontão ao pórtico de arquitrave.

### Regra 16. Adição de proto-frontão

A *Regra 16* tem o objetivo de permitir a adição de um proto-frontão sobre um pórtico de arquitrave. Esta regra encerra o estágio relativo à derivação de componentes dos pórticos. Em conformidade com o mencionado no subcapítulo 3.1.4.3. *Sistematização da coluna: Frontão*, para o delineamento do frontão Alberti considera que a sua largura ( $w_{ped}$ ) é igual à largura da cornija do entablamento ( $w_{cor}$ ), herdado da aplicação da *Regra 15*, e a altura da cumeeira ( $h_{ped}$ ), obtida a partir da medida da sua largura, numa razão que se deve encontrar no intervalo de um quarto e um quinto dessa dimensão (VII, 11, 5).

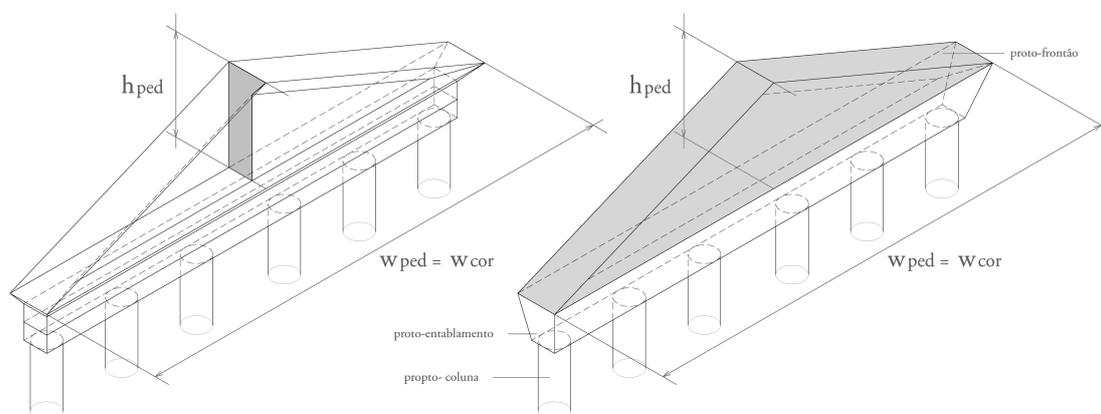


Figura 62. À esquerda, frontão segmentado nas suas partes. À direita, esquema do proto-frontão, simplificando a geometria inicial.

Para a notação algorítmica deste intervalo atribuímos-lhe a variável “ $\rho$ ”. Dada a continuidade do frontão relativamente à cornija do entablamento, à parte inferior do proto-frontão faz-se corresponder a face superior do proto-entablamento. Assim, a profundidade do proto-frontão ( $l_{ped}$ ) será igual à profundidade do proto-entablamento ( $l_{ent}$ ). O conjunto de condições para derivação do proto-frontão sintetiza-se do seguinte modo:

$$w_{ped} = w_{cor}$$

$$h_{ped} = \rho w_{cor} ; 1/5 \leq \rho \leq 1/4$$

$$l_{ped} = l_{ent} \Rightarrow l_{ped} = d_{col}$$

Tal como nas restantes regras deste estágio, a *Regra 16. Adição de proto-frontão* simplifica a geometria de um componente do pórtico. Os pontos  $p_{0c}$  e  $p_{0c}'$ , referentes às extremidades das cornijas (ver *Regra 15*), localizam as extremidades da face inferior do proto-frontão. A *Regra 16* consta da

adição da geometria relativa ao proto-frontão, sobre a cornija de um entablamento, apagando os pontos de referência da cornija (p0c e p0c') e adicionando um ponto de referência do topo da cumeeira (pf).

O número de iterações desta regra decorrerá do número de pórticos em que o utilizador da gramática pretende adicionar um frontão. A adição de frontões em pórticos laterais só fará sentido em templos de proporção quadrada. Um dos motivos corresponde à função do frontão, de esconder a cobertura do templo, o que no caso das descrições do *De re aedificatoria* serão em abóbada de berço, pelo que a sua volumetria destaca-se apenas na frontaria e tardoz.

Tabela 12. Síntese das alturas dos componentes para a sistematização da coluna e pórtico, na razão do diâmetro da coluna (dcol).

Géneros Componentes	Dórico	Jónico	Coríntio	Compósito
Capitel	1/2 dcol ou 3/4 dcol	1/3 dcol	dcol	dcol
Fuste	7 dcol	9 dcol ou 8 dcol*	8 dcol ou 9 dcol*	9 dcol
Base	1/2 dcol	1/2 dcol		-
Pedestal	≈ 2 dcol	≈ 2 dcol	-	-
Entablamento	2 dcol	2 1/6 dcol		-

\* inferido do Livro IX

### 3.2.3.6. Adição de cobertura(s)

No capítulo anterior<sup>129</sup> viu-se que Alberti prevê a utilização de coberturas mistas nos edifícios sagrados (III, 14), isto é, de coberturas em abóbada de berço, e que estas podem ser de dois tipos, em que o “tecto seja feito em degraus” ou em “linhas retas e em duas águas” (VII, 10, 5).

O estágio *Adição de cobertura(s)* é composto por sete regras de forma, um conjunto que permite a derivação da cobertura nave do templo e das capelas. As duas primeiras regras, são relativas à adição da cobertura da nave do templo, a *Regra 17* é específica à adição de uma cobertura em abóbada de alvenaria (em degraus) e, a *Regra 18*, à adição de uma cobertura em telhado de duas águas.

Similarmente, as restantes cinco regras, relativas às coberturas das capelas, dividem-se pelos dois tipos de coberturas, as duas primeiras agrupam-se na *Regra 19*, e as três restantes na *Regra 20*. A divisão destas regras em duas regras de forma justifica-se pela diferença de geometria que as capelas podem conter. Deste modo, as *Regras 19a* e *20a* são relativas à adição de coberturas em capelas de geometria semicircular e, as *Regras 19b* e *20b* à adição de coberturas em capelas retangulares.

Os elementos estruturais das coberturas apoiam-se nas paredes, de modo a que o ponto de arranque da abóbada corresponda à altura do paramento interior da cela, conforme descrições da *Regra 10. Extrusão das paredes da cela*, contudo, o paramento exterior da parede deverá elevar-se até à junto do beiral do telhado. A Figura 63 ilustra esquematicamente a adição dos dois tipos de cober-

<sup>129</sup> Designadamente, no âmbito dos subcapítulos: 3.1.2.2. *A Construção: Cobertura*; 3.1.3. *Os templos e a comodidade: A cobertura dos templos, entre a comodidade e o prazer*; 3.1.4.4. *Paredes e Cobertura: Altura das Paredes: Área e Cobertura*.

turas à nave do templo. Nestes esquemas percebe-se que as diferentes coberturas implicam diferentes relações com a parede.

Importa referir que Alberti não prescreve nenhum sistema construtivo, nem condições, específicas para o dimensionamento e delineamento das coberturas das capelas. Por este motivo, adotaremos as características da nave para a inferência de regras que permitem a derivação de coberturas das capelas.

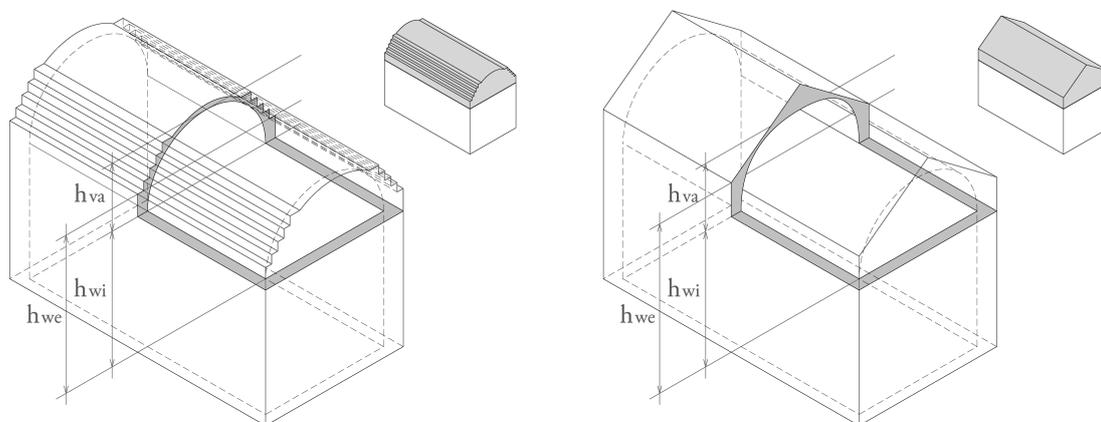


Figura 63. À esquerda, esquema representativo da adição de cobertura em abóbada de alvenaria (em degraus). À direita, esquema representativo da adição de cobertura de duas águas.

#### *Regra 17. Adição de cobertura de abóbada à nave*

Aos dois tipos de coberturas, Alberti faz corresponder diferentes *rationes* para o cálculo da elevação do paramento exterior da parede, relativamente ao pano interior. Nas coberturas em abóbada de alvenaria (em degraus), Alberti aconselha que o paramento exterior “ocupe” 1/3 da dimensão altura da abóbada ( $h_{va}$ )<sup>130</sup>. Por este motivo, propomos que o cálculo da altura do paramento exterior ( $h_{we}$ ) se faça pela soma da altura do paramento interior ( $h_{wi}$ ) com o *ratio* da altura da abóbada:  $h_{we} = h_{wi} + 1/3 h_{va}$

A *Regra 17. Adição de cobertura de abóbada à nave* considera esta condição. Os pontos que referenciam as extremidades do perímetro retangular da nave ( $p1$ ,  $p1'$ ,  $p2$  e  $p2'$ ) estabelecem os limites planimétricos da cobertura. Formalmente, a *Regra 17* opera a adição de um volume com uma face interior semicilíndrica, representativo do tecto em abóbada de berço, e na face exterior, as suas extremidades são constituídas por degraus<sup>131</sup>. Deste modo, a abóbada arranca da extremidade do paramento interior, e as paredes da frontaria e tardoiz elevam-se até ao arco da abóbada, encerrando o espaço interno da nave.

<sup>130</sup> A altura da abóbada de uma abóbada de berço corresponde ao raio do seu arco. E no caso dos templos à metade da largura do corpo que cobre, no sentido longitudinal. Isto é, à largura da cela:  $h_{va} = w_i/2$

<sup>131</sup> Morolli (1994, pp. 128-130) esquematiza o sistema construtivo implícito a este tipo de cobertura, tomando como referência a estrutura da cobertura da cúpula do Panteão de Roma, o mais simbólico dos edifícios greco-romano.

*Regra 18. Adição de cobertura duas águas à nave*

Para as coberturas de duas águas, devido à inclinação do telhado, Alberti recomenda que o paramento exterior se eleve no *ratio* de 1/2 da altura da abóbada, isto é:  $h_{we} = h_{wi} + 1/2 h_{va}$

A *Regra 18. Adição de cobertura duas águas à nave* implementa esta condição na derivação do telhado. Tal como na *Regra 17*, recorre aos pontos do perímetro da nave (p1, p1', p2 e p2') como referência do limite da cobertura. Porém, devido ao sistema construtivo em duas águas (ver 3.1.2.2. *A Construção: Cobertura*), exteriormente, representa-se a cobertura com dois planos inclinados que se estendem da cumeeira até à aresta do paramento exterior das paredes.

*Regra 19. Adição de cobertura de abóbada às capelas*

A *Regra 19* é constituída por duas regras de forma, a *Regra 19a. Capela de geometria semicircular* e a *Regra 19b. Capela de geometria retangular*, específicas à derivação de coberturas de capelas em abóbada de alvenaria (em degraus). Por este motivo, e dada a ausência de descrições específicas às capelas, consideramos as condições implícitas à *Regra 17* para a derivação das coberturas na *Regra 19*. Em notação simbólica representam-se do seguinte modo<sup>132</sup>:

$$h_{cwe} = h_{cwi} + 1/3 h_{cva}$$

$$h_{cva} = w_{ic} / 2$$

Em situações em que as paredes das capelas conformam uma geometria semicircular, aplica-se a *Regra 19a*. Esta regra caracteriza-se pela adição de um volume correspondente a meia cúpula. O tecto, isto é, a superfície interior do volume, desenvolve-se entre a linha que limita a parte superior do paramento interior da capela e o arco de abertura da capela para a nave, conformando um quarto de esfera. A parte exterior é análoga à derivação proposta na *Regra 17*, mas desenvolve ao longo da curvatura semicircular da parede.

A *Regra 19b* permite a derivação da cobertura de capelas retangulares. A transformação espacial que opera é similar à *Regra 17*, salvo a sua dimensão, que se adapta às condições da capela e, ao facto de não se encerrar no contacto com a abertura da capela para a nave.

*Regra 20. Adição de cobertura de duas águas às capelas*

A *Regra 20. Adição de cobertura de duas águas às capelas* agrupa três regras de forma. A *Regra 20a. Capela de geometria semicircular*, a *Regra 20b. Capela de geometria retangular* derivam coberturas de capelas com telhados de duas águas. A *Regra 20c. Capela de geometria retangular, telhado com um caimento* deriva telhados de capelas laterais com apenas uma caimento. As condições para aplicação destas regras são inferidas das descrições e condições reunidas na *Regra 18*:

$$h_{cwe} = h_{cwi} + 1/2 h_{cva}$$

$$h_{cva} = w_{ic} / 2$$

---

<sup>132</sup> Os parâmetros para a derivação da cobertura das capelas são os seguintes:  $h_{cwe}$  - altura exterior das paredes da capela;  $h_{cwi}$  - altura interior das paredes da capela;  $h_{cva}$  - altura da abóbada da capela;  $w_{ic}$  - largura da capela.

A *Regra 20a* permite a derivação da cobertura de capelas semicirculares. Formalmente, caracteriza-se pela adição de um tecto semicircular, tal como na *Regra 19a*, mas a superfície exterior, corresponde a um telhado de geometria cónica, de base no limite superior do paramento exterior da capela e seccionado no seu eixo.

A *Regra 20b*, respeitante à adição de cobertura de capelas retangulares em telhado de duas águas, internamente conforma um tecto em abóbada de berço, e externamente, de modo similar à *Regra 18*, salvo a sua dimensão, que se adapta às condições da capela e, ao facto de não se encerrar no contacto com a abertura da capela para a nave.

Por último, a *Regra 20c* adequa-se sobretudo a composições em que as capelas estão muito próximas, pelo que é necessário um telhado com apenas um caimento, unindo as coberturas capelas laterais contíguas. A superfície do tecto é em abóbada de berço, tal como as regras anteriores, mas o telhado corresponde a um plano inclinado com a largura da capela pelo seu extradorso.

Finalmente, propõe-se que o conjunto de regras de forma que compõem a *Regra 19* e a *Regra 20*, e que possam derivar a cobertura da capela-mor e das capelas laterais. No caso da cobertura da capela-mor, a sua localização e dimensão são referenciadas pelos pontos  $pc$  e  $pc'$ , referentes à extremidade superior da capela. Para a cobertura das capelas laterais, os pontos  $p3$  e  $p4$  e,  $p3'$  e  $p4'$ , operam o mesmo mecanismo de localização e referência das capelas. Todas estas regras contemplam a supressão destes pontos de referência.

### 3.2.3.7. Adição de Aberturas

O estágio *Adição de Aberturas* incorpora o processo generativo dos diferentes tipos de aberturas existentes nos templos. No Livro I (cap. 12) Alberti enuncia três tipos de aberturas: as portas, as janelas e os nichos.

Este estágio agrupa seis regras de forma. As duas primeiras regras são relativas à adição de portas de acesso ao templo, contemplando a diversidade de portas preconizadas por Alberti. A *Regra 21* permite a derivação de uma porta simples, enquanto que as *Regras 22a* e *22b*, derivam portas coríntias com pórtico e frontão. Seguem-se a *Regra 23. Adição de janelas termais* e a *Regra 2. Adição de nichos*.

No Livro VII (cap. 10) Alberti descreve ainda soluções específicas para as aberturas das capelas laterais. Uma destas soluções preconiza a adição de um pórtico de arquitrave na abertura de capelas laterais. Por tratar-se do arranjo de uma abertura, decidiu-se integrar uma regra de forma que traduza relação espacial que lhe é implícita, a sexta regra: *Regra 25*.

#### *Regra 21. Adição de porta de entrada*

A *Regra 21* prevê a adição de uma porta de entrada no templo, situada no pórtico da frontaria e na linha axial do corpo da nave. O subcapítulo 3.1.4.5. *Aberturas* é introdutório ao conjunto de descrições necessárias para a inferência de regras de forma para a derivação das partes das portas.

Nesse contexto, e relativamente às características da porta de entrada dos templos referimos que a altura total da porta ( $h_d$ ) deve ser igual à altura da coluna do pórtico ( $h_{col}$ ). A altura do vão ( $h_v$ ) deduz-se da altura da porta e a sua largura ( $w_v$ ) corresponde a metade da altura. A largura superior da ombreira ( $w_{js}$ ) também é inferida da altura da porta ( $h_d$ ), e a largura inferior da ombreira ( $w_{ji}$ ) deverá corresponder a 15/14 da parte superior. A altura do lintel ( $h_{li}$ ) iguala a largura superior da ombreira ( $w_{js}$ ). E por fim, sobre o lintel, adiciona-se uma arquitrave e no topo desta, uma cornija.<sup>133</sup>

As portas podem adotar ornamentos dóricos, jónicos ou coríntios. A cada um destes géneros correspondem diferentes *rationes* para o cálculo da altura do vão e da largura superior da ombreira. Por este motivo, associamos o cálculo destes parâmetros em conjuntos que agrupam a diversidade de valores que podem adotar. O conjunto  $\psi$  agrupa os *rationes* relativos à altura do vão e, o conjunto  $\psi'$  os *rationes* relativos à largura da ombreira.

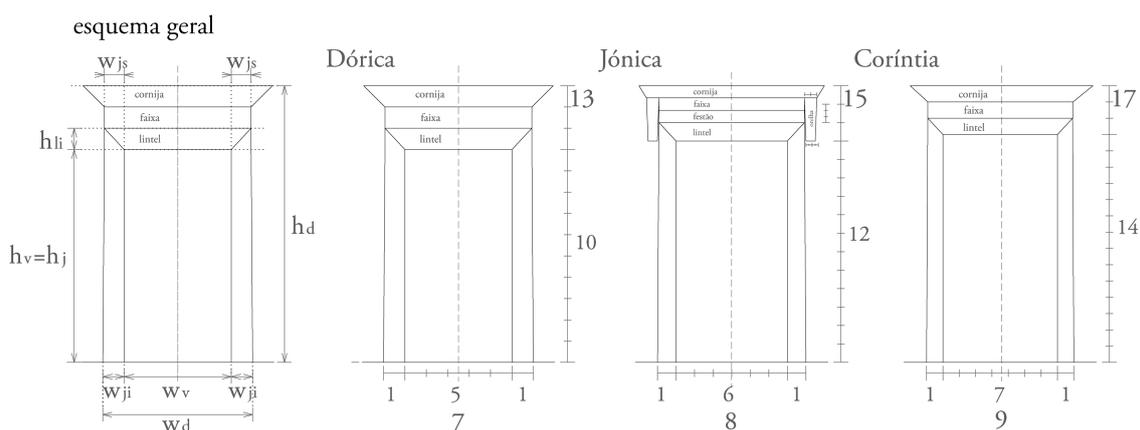


Figura 64. À esquerda, esquema geral das partes que compõem o ornamento das portas. Do lado direito, ilustram-se esquematicamente as proporções relativas aos géneros de portas preconizadas por Alberti, Dórica, Jónica e Coríntia, respetivamente.

O esquema geral para a composição das partes da porta é ilustrado pela Figura 64 (esquema da esquerda). Os restantes esquemas da Figura 64 ilustram as diferentes proporções da porta quando pertencentes aos géneros dórico ( $h_v = 10/13 h_d$ ;  $w_{js} = 1/13 h_d$ ), jónico ( $h_v = 12/15 h_d$ ;  $w_{js} = 1/15 h_d$ ) e coríntio ( $h_v = 14/17 h_d$ ;  $w_{js} = 1/17 h_d$ ). Como referido, estes *rationes* constituem os conjuntos  $\psi$  e  $\psi'$ . A notação simbólica deste conjunto de condições representa-se do seguinte modo:

$$h_d = h_{col}$$

$$h_v = \psi h_d; \psi \in \{10/13, 12/15, 14/17\}$$

$$w_v = 1/2 h_d$$

$$w_{js} = 1/\psi' h_d; \psi' \in \{13, 15, 17\}$$

$$w_{ji} = 15/14 w_{js}$$

$$h_{li} = w_{js}$$

<sup>133</sup> No âmbito da inferência de regras da GF<sub>A</sub> não consideramos pertinente as descrições relativas ao ornamento das arquitraves dos lintéis das portas. As suas dimensões globais são consideradas nas condições descritas na *Regra 20*. Interessa apenas referir que Alberti considera diferentes ornamentos para as portas dórica, jónica e coríntia.

A *Regra 21. Adição de porta de entrada* prevê que o utilizador selecione o género dos ornamentos que caracterizam as partes da porta. Na Figura 65, onde expõe-se a regra de forma nas diferentes vistas, é perceptível que a base da porta, na sua linha axial, alinha-se ao centro da frontaria, e é referenciada pelo cruzamento da linha axial do templo com a reta que une os pontos  $p_2$  e  $p_2'$ . O lado esquerdo da regra caracteriza-se por duas operações: a subtração do vão da porta à parede da frontaria e a adição das ombreiras, lintel, arquitrave e cornija. O somatório das suas alturas é equivalente à altura da proto-coluna ( $h_{col}$ ) herdada do *Estágio 5. Adição de Pórticos*.

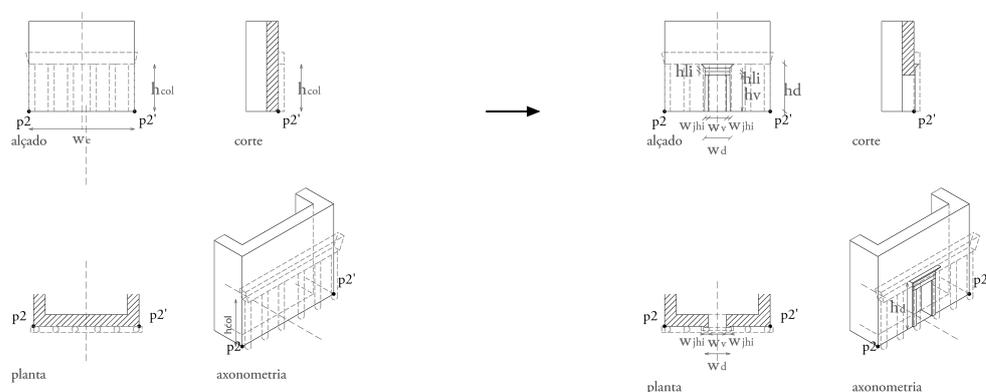


Figura 65. *Regra 20. Adição de porta de entrada*

### *Regra 22. Adição de porta de entrada Coríntia com pórtico e frontão*

Alberti considera que num templo sem pórtico na frontaria é adequada uma porta coríntia ornamentada por um pórtico de arquitrave, composto por duas colunas e encimado por um frontão. A *Regra 22. Adição de porta de entrada Coríntia com pórtico e frontão* introduz este tipo de porta. A *Regra 22* divide-se em duas regras, a *Regra 22a. Com pórtico solto* e a *Regra 22b. Com pórtico adossado*.

Tal como a designação das regras indica, estas diferem na posição do pórtico relativamente à parede da frontaria. Na primeira, as colunas estão completamente soltas da parede, em que a distância entre o centro da coluna e a parede é equivalente ao raio da proto-coluna. Na segunda, as colunas apresentam apenas metade do seu diâmetro, pelo que, o seu centro é coincidente com o limite externo da parede.

As duas regras partilham condições e parâmetros para a sua derivação. Ambas combinam descrições da porta coríntia com o conjunto de descrições relativas aos componentes do pórtico. Por este motivo, o conjunto de condições e parâmetros necessários ao seu processo de derivação advém da *Regra 21. Adição de porta de entrada* e das regras de forma do *Estágio 5. Adição do Pórtico*.

Importa referir que Alberti propõe a substituição da arquitrave e cornija, que encimam a porta, pelo entablamento do pórtico. Se a totalidade da altura da porta ( $h_d$ ) mede-se no topo do lintel, a altura do vão da porta ( $h_v$ ) corresponderá a  $15/14$  dessa dimensão.

No que concerne ao delineamento da porta, a exclusividade de ornamentos coríntios reduz o conjunto de variações para o dimensionamento da altura do vão da porta e largura das ombreiras, previstas na *Regra 21*, não sendo necessários os respetivos conjuntos  $\psi$  e  $\psi'$ .

Similarmente, para o delineamento da proto-coluna, proto-entablamento e proto-frontão, dos conjuntos representativos de *rationes* variáveis pela variação do género de ornamento, apresentados no *Estágio 5*, mantêm-se apenas os *rationes* relativos ao género coríntio.

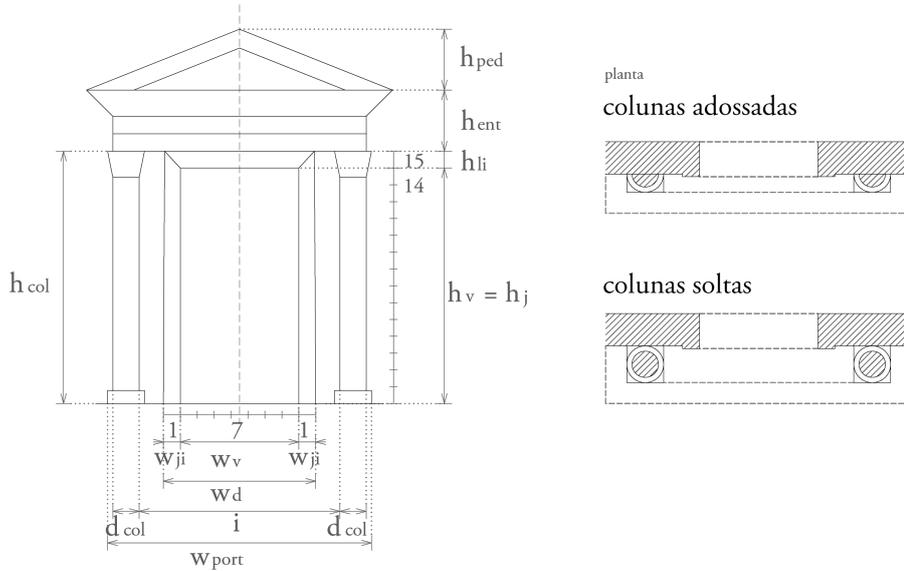


Figura 66. À esquerda, esquema geral das partes que compõem o pórtico e a porta. Do lado direito, plantas ilustrativas do posicionamento das colunas, relativamente à parede.

Alberti não dá prescrições para o dimensionamento da porta e do pórtico. Contudo, sabemos que a parte superior da porta alinha pelo topo dos capiteis das colunas. Perante estes factos, sugerimos que o utilizador determine a dimensão do pórtico, pela escolha do tipo de intercolúnio e número de colunas que “normalmente” fariam parte do pórtico da frontaria, ainda que apenas se adicionem as colunas do intercolúnio central, conforme ilustrado na Figura 66, este processo garante que as proporções do pórtico e da porta sejam adequadas à proporção do templo, e condizentes com as prescrições de Alberti.

De seguida, expõem-se diversos conjuntos de condições para o dimensionamento de cada uma das partes do pórtico e da porta.

Condições para o cálculo do diâmetro das colunas ( $d_{col}$ ) e intercolúnio central ( $i_c$ ), para hipotético pórtico: <sup>134</sup>

$$w_{port} \geq w_e \wedge w_{port} = n_{col} d_{col} + (n_{col}-2)i + i_c$$

$$d_{col} = w_{port} / (n_{col} (1+\delta) - 3/4 \delta)$$

$$i = \delta d_{col}; \delta \in \{3/2, 2, 9/4, 3, 27/8\}$$

$$i_c = 5/4 i$$

$$n_{col} \in \{2n\} \wedge n \in \mathbb{N} \quad ^{135}$$

<sup>134</sup> Estas condições consideram que o pórtico ocupará a totalidade da frontaria, para que se possam dimensionar as colunas e intercolúnio centrais.

<sup>135</sup> O número de colunas que em hipótese, comporia o pórtico da frontaria.

Condições para o cálculo da altura das proto-colunas ( $h_{col}$ ):

$$h_{col} = h_{cap} + h_{fus} + h_{bas}$$

$$h_{cap} = d_{col} *$$

$$h_{fus} = \lambda_{fus} d_{col}; \lambda_{fus} \in \{8, 9\} *$$

$$h_{bas} = 1/2 d_{col}$$

Condições para o cálculo do intercolúnio para pórtico de porta Coríntia ( $i_d$ ):

$$i_d = h_{col} - d_{col} - w_{bas}$$

$$w_{bas} = 11/8 d_{col} *$$

Condições para o cálculo das dimensões do entablamento e frontão:

$$h_{ent} = 2 \frac{1}{6} d_{col} *$$

$$w_{ent} = w_{port}$$

$$h_{ped} = \rho w_{port}; 1/5 \leq \rho \leq 1/4$$

$$w_{ped} = w_{port}$$

Condições para o cálculo das dimensões da porta:

$$h_d = h_{col}$$

$$h_v = 14/15 h_d *$$

$$h_{li} = 1/15 h_d *$$

$$w_v = 7 h_d *$$

$$w_{js} = h_{li}$$

$$w_{ji} = 15/14 w_{js}$$

$$w_d = w_v + 2 w_{ji} \wedge w_d \leq i_d$$

Ainda que formalmente distintas, a Regra 22 e a Regra 21 caracterizam-se pelo mesmo conjunto de operações: na localização, na subtração do volume do vão à parede e manipulação de pontos auxiliares.

### *Regra 23. Adição de janelas termais*

Nos templos, Alberti prevê a possibilidade de existirem aberturas na parte superior de paredes onde terminem tectos em abóbada. A *Regra 23*, contém o formalismo necessário para adição dessa janela

Formalmente, são compostas por um arco, para que se adequem à abóbada, segmentado por duas pilastras que assentam sobre um lintel. Alberti preconiza que as pilastras sigam as proporções do pórtico. Isto é, que se implementem as proporções do intercolúnio ( $i$ ) e colunas no delineamento das pilastras. No entanto, para o dimensionamento da janela, teremos de considerar apenas duas pilastras e três intercolúnios distribuídos na largura da janela. Conforme ilustrado na Figura 67, a largura total da janela ( $w_w$ ) corresponde à largura da abóbada ( $w_{va}$ ) e é equivalente ao somatório das colunas ( $d_{col}$ ), intercolúnios ( $i$ ) e lintéis/ombreiras da janela ( $w_j$ ), presentes nas extremidades do arco. Escolhido o *ratio* do intercolúnio ( $\delta$ ), determina-se a largura de cada uma das partes da janela, pelas seguintes condições:

$$w_w = w_{va}$$

---

\* Valores específicos da proporção Coríntia.

$$w_w = 2 d_{col} + 3i + 2w_j \Rightarrow d_{col} = (w_w - 3i - 2w_j)/2$$

$$i = \delta d_{col}; \delta \in \{3/2, 2, 9/4, 3, 27/8\}$$

Para o cálculo da altura máxima do vão ( $h_w$ ), e respetivo arco e lintel ( $h_{li}$ ), sabemos que a altura total da janela ( $h_w$ ) corresponde a metade da largura do arco da abóbada ( $1/2 w_{va}$ ). Como Alberti pretende que o ornamento das janelas termiais siga o proposto para as portas, considera-se que as proporções do vão são dependentes do género de ornamento (conjuntos  $\psi$  e  $\psi'$ ), conforme condições apresentadas na *Regra 21. Adição de porta de entrada*. A notação algorítmica destas condições pode apresentar-se do seguinte modo:

$$h_w = 1/2 w_{va}$$

$$h_v = \psi h_w; \psi \in \{10/12, 12/14, 14/16\}$$

$$w_j = \psi' h_v; \psi' \in \{1/12, 1/14, 1/16\}$$

$$h_{li} = w_j$$

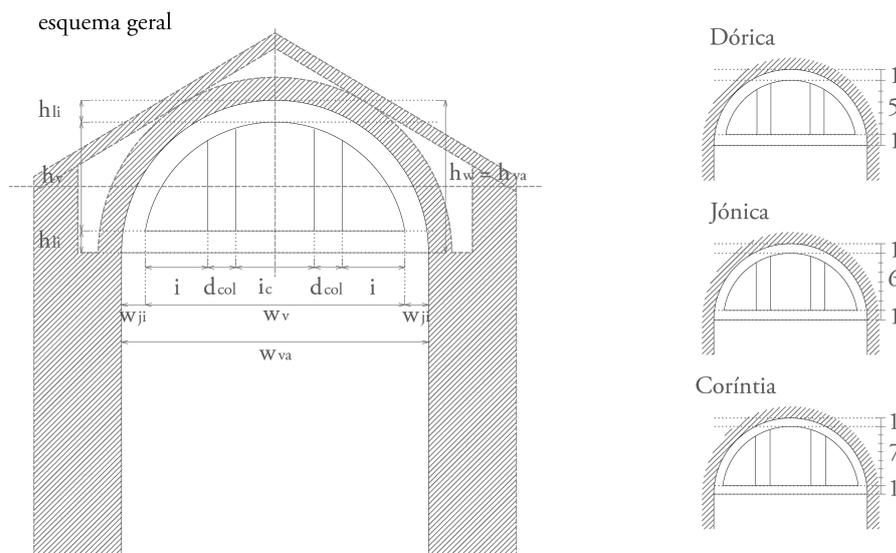


Figura 67. À esquerda, esquema geral das partes que compõem o ornamento das janelas termiais. Do lado direito, ilustram-se esquematicamente as proporções relativas aos géneros Dórico, Jónico e Coríntio.

A *Regra 23. Adição de janelas termiais* deverá ser empregue quando o utilizador deseja abrir uma janela termial na nave do templo, podendo fazê-lo na frontaria, ou tardoz. Ou ainda, em capelas com tecto em abóbada de berço, isto é, em capelas com planta de geometria retangular. No caso das capelas laterais, a derivação será dupla, isto é, ocorrerá igualmente na capela simétrica. Posteriormente, o utilizador deve seleccionar o género de ornamentos que caracterizam as partes da janela, e assim deduzir as dimensões das suas partes.

A transformação formal da *Regra 23* caracteriza-se por duas operações: a subtração do vão da janela à parede alvo de transformação, seguida da adição dos componentes da janela termial.

### Regra 24. Adição de nichos

Os nichos distinguem-se das restantes aberturas pelo facto de constarem apenas de rebaixo da superfície da parede, sem permitirem a passagem. O seu objetivo é permitir a colocação de estátuas e quadros. Alberti dá duas indicações para o delineamento do nichos: devem seguir o ornamento das portas; e ocupar um terço da altura do muro.

Por analogia com as portas, o vão dos nichos é retangular, delimitado por ombreiras e lintel, encimados por uma arquitrave e cornija. A estes componentes, adiciona-se um peitoril, para fecho da parte inferior do vão. As proporções destes elementos deduzem-se a partir da altura total do nicho, deduzível pela seguinte descrição: a altura total do nicho é igual a 1/3 da altura do paramento interior da nave ( $h_{ni} = 1/3 h_{wi}$ ) (ver Figura 68). As condições enunciadas na *Regra 21* são válidas para a *Regra 24*, contudo, no conjunto de *rationes* para o cálculo da altura do vão ( $\psi$ ) considera-se ainda o módulo correspondente ao peitoril, cuja altura corresponde a um módulo, tal como o lintel.

Por último, a profundidade do nicho ( $d_{ni}$ ) será nula se acomodar pinturas ou, quando acomoda estátuas, a profundidade será desenhada por um arco com diâmetro igual à largura do vão.

$$h_{ni} = 1/3 h_{wi}$$

$$h_v = \psi h_{ni} ; \psi \in \{10/14, 12/16, 14/18\}$$

$$w_v = 1/2 h_v$$

$$w_{js} = \psi' h_v ; \psi' \in \{1/14, 1/16, 1/18\}$$

$$h_{li} = w_{js}$$

$$w_{ji} = 15/14 w_{js}$$

$$d_{ni} = 1/2 w_v \vee d_{ni} = 0$$

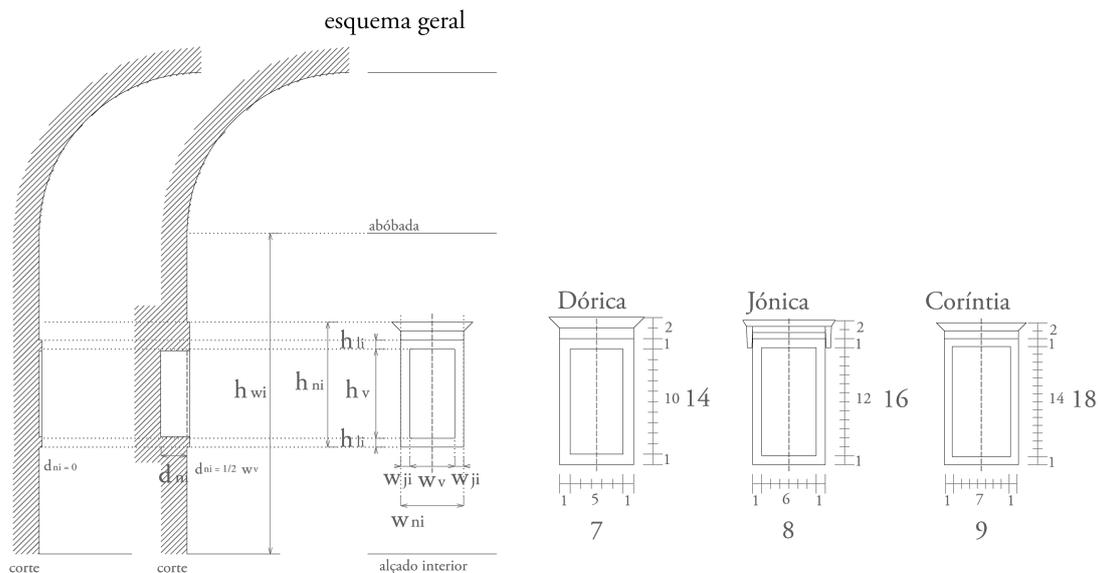


Figura 68. À esquerda, esquema geral das partes que compõem o ornamento dos nichos. Do lado direito, ilustram-se esquematicamente as proporções relativas aos gêneros Dórico, Jónico e Coríntio.

Como referimos no subcapítulo 3.1.4.5. *Aberturas: Nichos*, Alberti não refere a localização dos nichos. Para suprimirmos esta “lacuna”, recorreremos à observação de exemplos construídos. Na igreja

de Sant'Andrea verifica-se a existência de nichos na parede de ossatura entre aberturas de capelas laterais e, colocados a uma altura de aproximadamente 1/3 da altura total da parede. E, na igreja de São Roque, encontram-se nichos na parede tardoz, entre abertura da capela-mor e as paredes longitudinais da nave. Estas são as duas localizações que consideramos para a adição de nichos no paramento interior da nave.

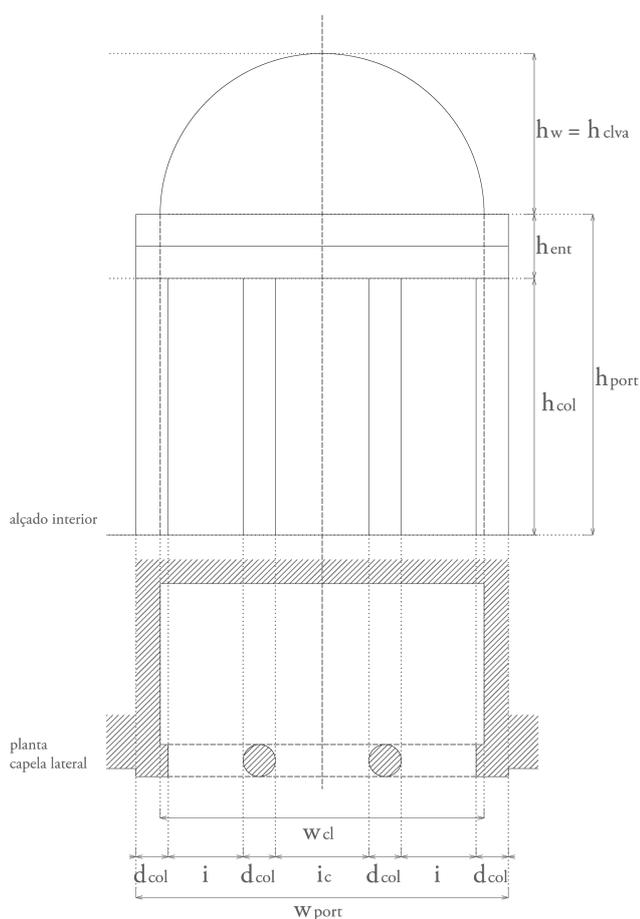
Tal como as restantes regras deste estágio, o utilizador deverá selecionar a localização e o gênero de ornamento do nicho. O lado direito da *Regra 24. Adição de nichos* caracteriza-se pela subtração do vão do nicho à parede alvo de transformação, seguida da adição dos componentes de ornamento da janela termal. Independentemente da parede<sup>136</sup> onde se localiza o nicho, esta regra aplica-se sempre no seu simétrico, tendo em consideração a linha axial do templo.

*Regra 25. Adição de pórtico na ligação de capelas e a nave*



Figura 69. Em cima. Fotografia da frontaria da Igreja de San Pancrazio, na sua configuração actual.<sup>137</sup>

Figura 70. À direita. Alçado e planta esquemáticas de pórtico de arquitrave, na ligação de capela à nave, conforme descrições do Livro VII, cap.10.



No subcapítulo 3.1.4.5. *Aberturas: Articulação espacial: nave e capelas laterais* observamos que o pórtico de arquitrave da capela Rucellai, atribuído a Alberti e, originalmente instalado na abertura desta capela para a igreja de San Pancrazio (Florença), hoje, instalado na sua frontaria, corresponde à

<sup>136</sup> Poderá aplicar-se nos paramentos interiores das fachadas laterais, do tardoz e da frontaria.

<sup>137</sup> Fotografia obtida no portal <http://www.museomarinomarini.it/section.php?page=fondazione&sezione=5>, em Junho de 2015.

configuração espacial descrita no Livro VII *De re aedificatoria* (VII, 10, 1) para o ornamento da ligação de capelas à nave. Motivo para se propor como referência complementar à descrição da relação espacial enunciada no tratado. Deste modo, e tal como se observa na frontaria de San Pancrazio, para além das duas colunas centrais, consideramos que nas extremidades do entablamento instalassem-se duas pilastras embebidas nas paredes que limitam a abertura da capela (Figura 69). Tendo em consideração estes factos, a *Regra 25* contempla a adição de um pórtico na ligação de uma capela à nave. Trata-se de um pórtico de arquitrave que ocupa a abertura da capela, constituído por duas colunas centrais, duas pilastras nas extremidades, separadas por três intercolúnios, em que o intercolúnio do meio corresponde ao intercolúnio central.

Alberti prevê a colocação de estátuas e candelabros no espaço vazio entre a parte superior do entablamento e o arco de fecho da abertura da capela. Como a nossa investigação não incide nesse tipo de ornamentos, não foi inferida qualquer regra para a sua colocação.

A Figura 70 ilustra esquematicamente a composição do pórtico, bem como os parâmetros necessários ao seu dimensionamento. Como a sua configuração corresponde a um pórtico de arquitrave, os parâmetros e condições descritas para a *Regra 25* correspondem aos das regras relativas ao dimensionamento dos intercolúnios de um pórtico (*Regra 9. Distribuição de colunas*), à derivação de colunas (*Regra 13. Adição de proto-colunas*) e entablamento (*Regra 15. Adição de proto-entablamento*).

#### 3.2.3.8. O último estágio

Geralmente, a última regra da estrutura recursiva de uma GF apaga todos os marcadores e etiquetas que possam restar do processo de derivação. Estas regras têm o objetivo de libertar a solução final de todos os elementos auxiliares ao processo de derivação, resultando numa solução de projeto representada apenas por elementos gráficos que revelam a natureza espacial e arquitetónica da solução.

O último estágio da GF<sub>A</sub>, onde encerra-se o processo de derivação de uma solução de projeto, termina com a aplicação da *Regra 26. Supressão de marcadores e etiquetas*. Em notação algorítmica esta regra consiste em:

$px \rightarrow \emptyset$ , em que  $x$  corresponde à enumeração de qualquer ponto de referência que possa constar da forma inicial, isto é, de qualquer marcador.

### 3.3. Avaliação da capacidade generativa da gramática

#### 3.3.1. Introdução

Este subcapítulo tem o objetivo de expor a capacidade generativa da  $GF_A$ , propondo-se a divisão desta tarefa em três momentos. (1) Primeiro pela ilustração da derivação de uma solução de projeto pela aplicação passo a passo de regras de forma inferidas e descritas no subcapítulo anterior, resultando numa solução de projeto dentro da linguagem da gramática. (2) Complementarmente, apresenta-se o cálculo estimativo do número de soluções que a  $GF_A$  pode gerar. Nesse âmbito, demonstra-se que a grande extensão do universo de soluções da  $GF_A$  é produto das variações morfológicas e proporcionais (de natureza paramétrica) previstas no *De re aedificatoria* para a edificação das partes dos templos. Este facto justifica (3) a implementação do conhecimento arquitetónico descrito na gramática num *pseudo*-interpretador que automatiza a derivação de soluções dentro da linguagem da  $GF_A$ , reduzindo o tempo necessário à derivação de soluções se comparado com processos de derivação pela aplicação “manual” das regras, passo a passo.

Em síntese, dadas as variações morfológicas e proporcionais previstas nas descrições das regras e, de modo a agilizar o processo de derivação de soluções, implementou-se a  $GF_A$  num modelo computacional que automatiza a geração de soluções dentro de determinados parâmetros.

Por este motivo, são descritos dois processos para a derivação de soluções dentro da linguagem da gramática: (a) pela aplicação passo a passo das regras de forma da  $GF_A$  sem implementação informática das regras; (b) pela implementação das regras da  $GF_A$  num programa através de linguagens de programação visual (LPV)<sup>138</sup> automatizando o processo de derivação.

No final deste subcapítulo faz-se uma avaliação prévia da validade da  $GF_A$  segundo os critérios propostos por Stiny e Mitchell (1978). Neste âmbito, perante a especificidade do *corpus* e o universo de soluções da  $GF_A$ , se comparada com outras gramáticas analíticas de referência, propõe-se a realização de um teste analítico inverso, a desenvolver-se em capítulos subsequentes. Este teste tem o objetivo de auxiliar à aferição da proximidade destes modelos com exemplos de referência de igrejas da Renascença portuguesa e eventual influxo do *De re aedificatoria* nesses edifícios.

#### 3.3.2. Processo de derivação de soluções de projeto

A derivação de soluções de projeto de uma GF dá-se pela subsequente aplicação de regras de forma a uma forma inicial. Com o objetivo de exemplificar o processo de derivação de uma solução da  $GF_A$ , descreve-se e ilustra-se (da Figura 71 à Figura 73) a transformação formal que ocorre pela sucessiva aplicação de regras da forma da gramática da vista axonométrica, ao longo dos oito estágios da gramática.

Complementarmente, apresentam-se dois tipos de ilustrações com o intuito de auxiliar à compreensão das opções tomadas no processo generativo desta solução: (1) Um diagrama que mostra a sequência de regras aplicadas (Figura 74 e Figura 75) na estrutura recursiva da  $GF_A$  auxiliando à percepção de situações em que existe escolha múltipla ao nível das regras, normalmente relativas a

---

<sup>138</sup> Ver 3.2.4. Implementação de gramáticas de forma: Linguagens de programação visual.

variações ao nível da forma. O diagrama identifica ainda situações em que as regras são aplicadas de modo recursivo ou sequencial. (2) E tabelas que assinalam os valores escolhidos no processo de derivação para cada um dos parâmetros variáveis (da Tabela 13 à Tabela 19).

No *Estágio 1 (Regra 1 a Regras 5)* o processo de derivação corresponde à transformação da forma inicial um retângulo quadrado, para uma composição planimétrica correspondente ao perímetro do interior do edifício. A solução derivada caracteriza-se por ter uma cela retangular de proporção 1:2 rodeada por uma capela-mor retangular (1:1) e três pares de capelas laterais, dois de geometria semicircular e um retangular, dispostos de modo alternado. As proporções de cada um destes elementos são escolhidos pelo utilizador da gramática dentro dos intervalos definidos nas condições das regras. As regras escolhidas para a derivação das capelas determinam a geometria das mesmas.

No final do *Estágio 2 (Regras 6 e Regras 7)* a solução evoluiu para uma representação planimétrica do edifício que consta do perímetro do paramento exterior. No *Estágio 3 (Regras 8 e Regras 9)* verifica-se a adição da forma das colunas de um pórtico solto da frontaria. Neste estágio, o utilizador definiu a localização e disposição do pórtico, bem como a sua dimensão. Nesta solução, o utilizador optou por uma colonata de seis colunas, espaçadas por intercolúnios do tipo elegante.

No *Estágio 4 (Regra 10 à Regra 12)* são introduzidos volumes correspondentes às paredes da cela e capelas e, é adicionado o pódio ao longo de todo o perímetro do edifício. A geometria tridimensional das paredes corresponde à extrusão vertical das paredes de cada uma das partes do edifício, mantendo o carácter morfológico herdado de estágios anteriores. Neste estágio é necessário que o utilizador escolha a altura das paredes da cela e das paredes das capelas, dentro das condições e intervalos previstos (ver Tabela 16).

As regras de forma do *Estágio 5 (Regra 13 a 16)* adicionam as partes do pórtico conforme localização e dimensões herdadas do *Estágio 3*. O utilizador deve combinar o(s) sistema(s) de ornamento a utilizar nas partes do pórtico. Nesta derivação, as dimensões da proto-coluna correspondem a uma coluna que combina um capitel e fuste dórico, com uma base jónica (*Regra 13*). Não se considera a adição de proto-pedestal, pelo que não se aplica a Regra 14 (ver Figura 75). As dimensões do proto-entablamento correspondem ao sistema dórico e, para o dimensionamento do proto-frontão, apenas foi necessário definir a altura da cumeeira dentro de um determinado intervalo (ver Tabela 17).

No *Estágio 6 (Regras 17 a 20)* adicionou-se uma cobertura em abóbada à área da cela e coberturas de duas águas às áreas das capelas. No *Estágio 7 (Regra 21 a 25)* adicionaram-se as aberturas, nomeadamente uma porta ornamentada e dimensionada segundo o sistema jónico, janelas terminais no topos das paredes das capelas de base retangular, ou seja, na capela-mor e em duas capelas laterais. Os parâmetros para o dimensionamento das janelas tomam valores correspondentes a um intercolúnio elegante e sistema dórico. Finalmente, considerou-se a adição de dois nichos no alçado interior do tardo, um de cada lado da abertura da capela-mor. As dimensões e ornamento dos nichos seguem o sistema utilizado nas janelas.

O processo generativo encerrou-se aqui, onde a última regra da GF<sub>A</sub> (a *Regra 26*) apaga todos os marcadores que ainda estejam ativos no modelo em derivação permitindo a leitura de elementos que correspondem apenas à representação espacial do projeto.

Importa referir que o autor da solução corresponde ao autor da gramática, pelo que não houve qualquer entropia na compreensão do mecanismo de funcionamento das regras de forma e respectivos parâmetros e condições o que poderá acontecer com um utilizador menos proficiente.

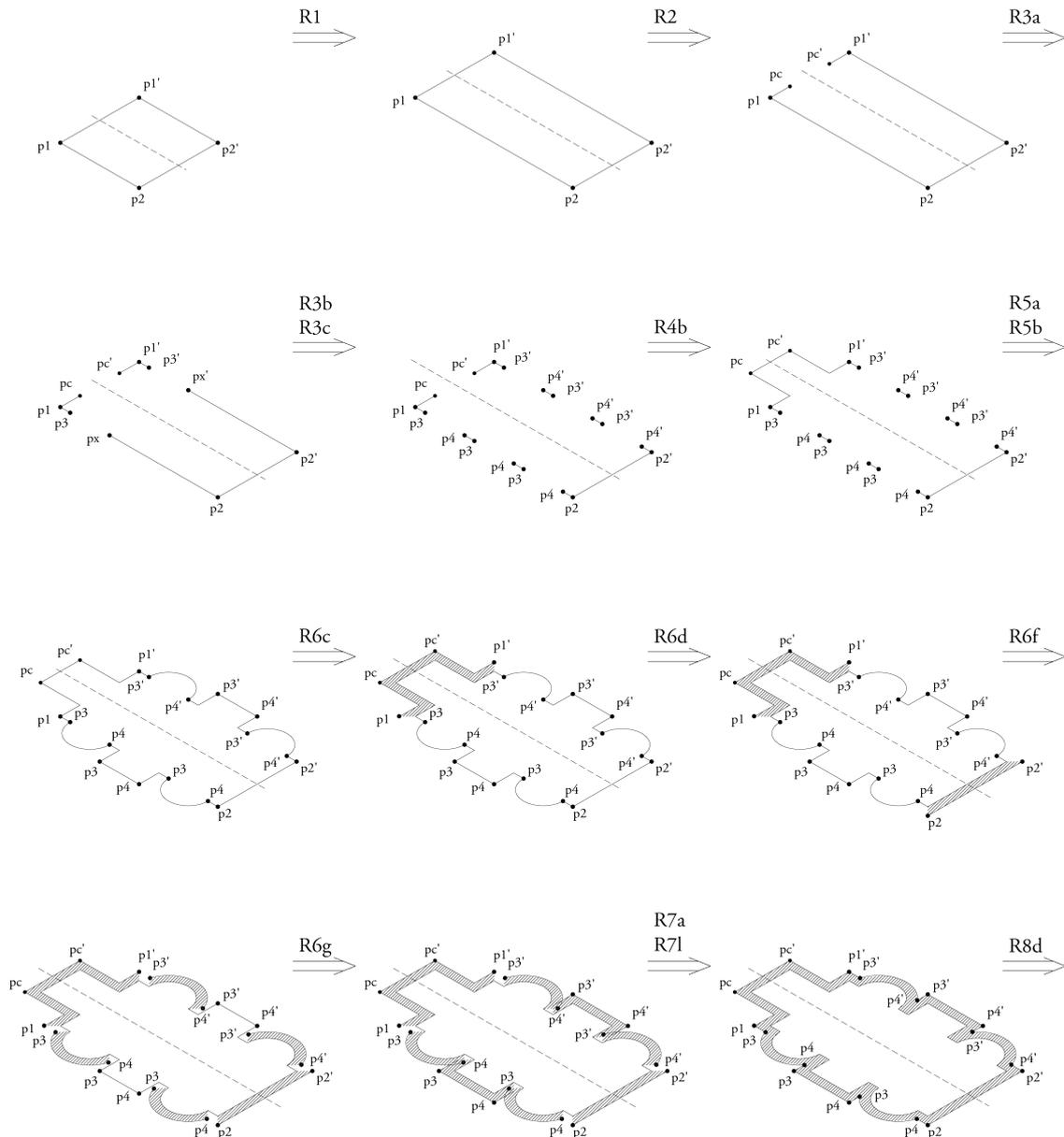


Figura 71. Derivação de um edifício sagrado conforme descrições do *De re aedificatoria*, pela aplicação passo a passo de regras de forma da GF<sub>A</sub>. Derivação referente à gramática de vista axonométrica, *Regra 1 a Regra 8*.

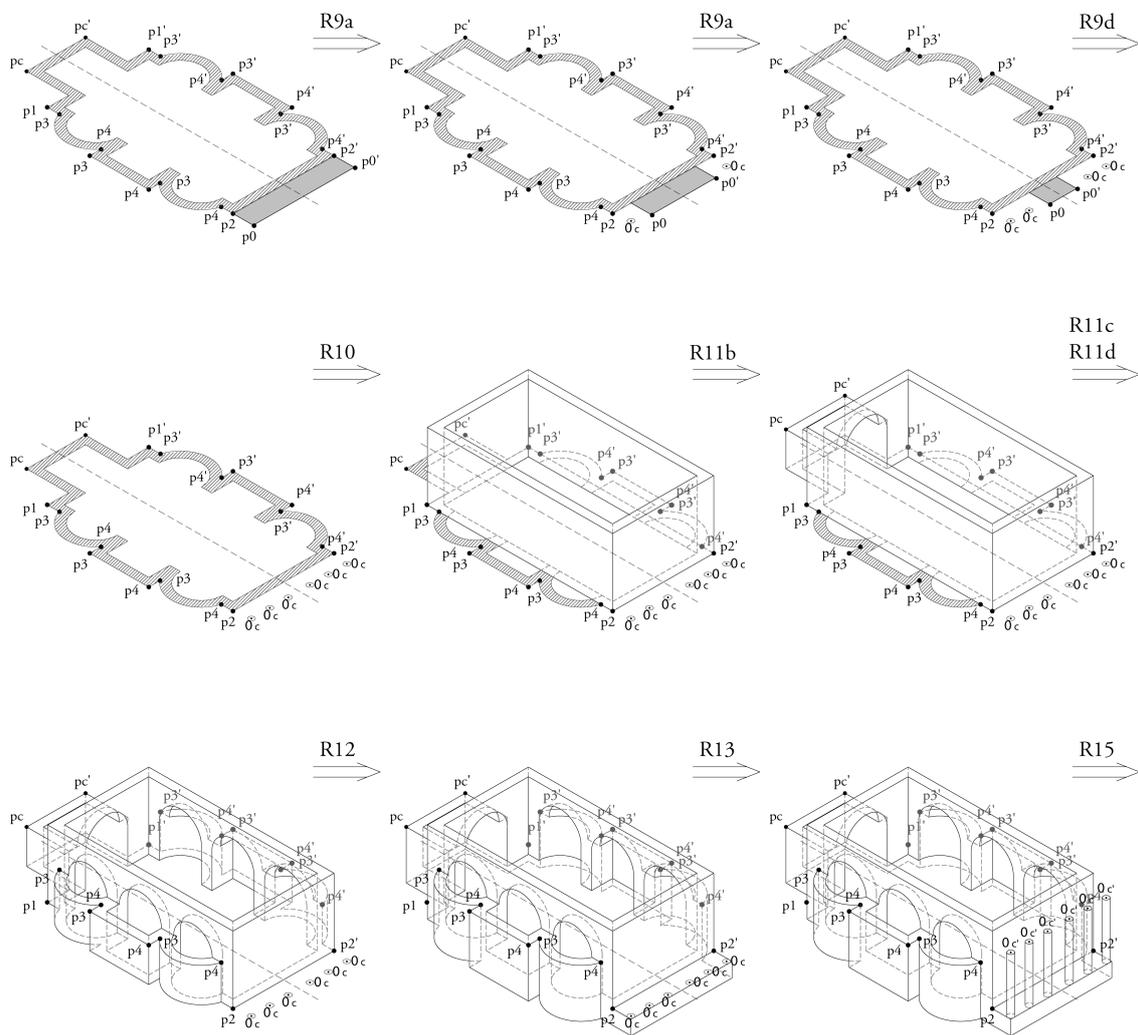


Figura 72. (continuação da Figura 71) Derivação de um edifício sagrado conforme descrições do *De re aedificatoria*, pela aplicação passo a passo de regras de forma da GF<sub>A</sub>. Derivação referente à gramática de vista axonométrica, Regra 9 a Regra 15.

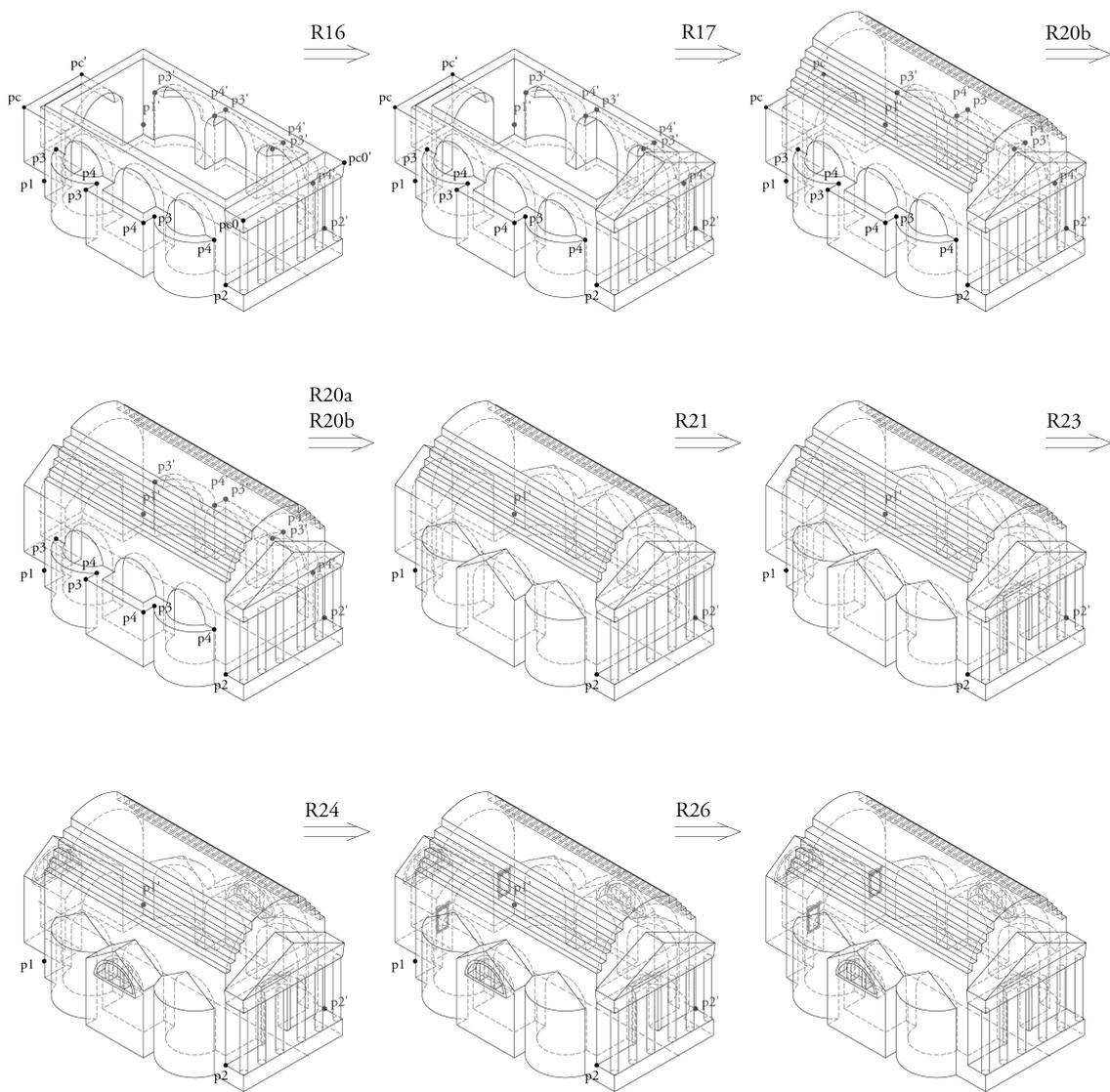


Figura 73. ( continuação da Figura 72) Derivação de um edifício sagrado conforme descrições do *De re aedificatoria*, pela aplicação passo a passo de regras de forma da GF<sub>A</sub>. Derivação referente à gramática de vista axonométrica, *Regra 16* até alcançar a solução final.

Tabela 13. Parâmetros e condições utilizados ao longo *Estágio 1 : Composição interna* na derivação das partes dos templos, em que os valores utilizados na derivação da solução exemplificada na Figura 71 a Figura 73 estão assinalados em caracteres mais escuros e sublinhados.

parâmetros		condições
<b>Cela</b>		
$w_i$	largura da cela	$w_i \in \mathbb{R}^+$
$l_i$	comprimento	$l_i = \alpha w_i$
$\alpha$	variável do comprimento da cela	$\alpha \in \{1, \sqrt{4/\sqrt{3}}, \sqrt{3/\sqrt{2}}, 4/3, \sqrt{2}, 3/2, \sqrt{3}, 16/9, \underline{2}, 9/4, 8/3, 3, 4\}$
<b>Capela-mor</b>		
$w_c$	largura da abertura	$w_c = \beta w_i$
$\beta$	variável da abertura da capela	$\beta \in \{\underline{2/4}, 4/6\}$
$l_c$	profundidade	$l_c = w_c$
$r_c$	raio	$r_c = w_c$
<b>Capelas Laterais</b>		
$w_{cl}$	largura da abertura	$w_{cl} = \varphi w_c$
$\varphi$	variável da abertura da capela	$\varphi \in \{11/12, \underline{1}\}$
$w_s$	largura da ossatura	$w_s = (l_i - n_{cl} w_{cl}) / (n_{cl} + 1)$
$\varphi'$	variável da ossatura	$1/5 \leq \varphi' \leq 1/3 \vee \varphi' = 1/2 \quad \varphi' = w_s / w_{cl}$
$n_{cl}$	número de pares de capelas laterais	$n_{cl} \in \{0, 1, \underline{3}, 5, \dots\}$
$l_{cl}$	comprimento	$l_{cl} = 1/2 w_c$
$r_{cl}$	raio	$r_{cl} = 1/2 w_c$

Tabela 14. Parâmetros e condições utilizados ao longo *Estágio 2 : Delineamento de paredes* na derivação das partes dos templos, em que os valores utilizados na derivação da solução exemplificada na Figura 71 a Figura 73 estão assinalados em caracteres mais escuros e sublinhados.

parâmetros		condições
<b>Paredes</b>		
$t_w$	espessura	$t_w = \sigma w_i / (1 - 2 \sigma) \vee t_w = h_i d_{col} / h_{col}$
$\sigma$	variável da espessura da parede	$\sigma \in \{\underline{1/12}, 1/9\}$
<sup>139</sup> $d_{col}$	diâmetro das colunas	
<sup>139</sup> $h_{col}$	altura das colunas	
$w_c$	largura da área	$w_c = w_i + 2 t_w$
$l_c$	comprimento da área	$l_c = l_i + 2 t_w$

Tabela 15. Parâmetros e condições utilizados ao longo *Estágio 3 : Delineamento do pórtico* na derivação das partes dos templos, em que os valores utilizados na derivação da solução exemplificada na Figura 71 a Figura 73 estão assinalados em caracteres mais escuros e sublinhados.

parâmetros		condições
<b>Intercolúnio</b>		
$i$	intercolúnio	$i = \delta d_{col}$
$\delta$	variável para proporção do intercolúnio	$\delta \in \{1/2, 2, \underline{2 \frac{1}{4}}, 3, 3 \frac{3}{8}\}$
$i_c$	intercolúnio central	$i = 1 \frac{1}{4} i_c$
$n_{col}$	número de colunas	$n_{col} \in \underline{6} \wedge n \in \mathbb{N}$
<b>Frontaria</b>		
$w_{port}$	largura do pórtico	$w_{port} \geq w_c \wedge w_{port} = n_{col} d_{col} + (n_{col}-2)i + i_c$
$d_{col}$	diâmetro da coluna	$d_{col} = w_c / [(\delta + 1) (n_{col} - m_{col}') - 3/4 \delta]$
$l_{port}$	profundidade do pórtico	$l_{port} = 0 \vee l_{port} = m_{col} (d_{col} + i)$
$m_{col}$	número de colonatas	$m_{col} = \underline{1} \rightarrow l_{port} \leq 1/3 l_c$
$l_c$	profundidade da área	
$l_{portl}$	profundidade do pórtico lateral	

<sup>139</sup> Parâmetros relativos a outras partes do edifício, mas influentes no cálculo das dimensões desta parte.

Tabela 16. Parâmetros e condições utilizados ao do longo *Estágio 4 : Extrusão de paredes* na derivação das partes dos templos, em que os valores utilizados na derivação da solução exemplificada na Figura 71 a Figura 73 estão assinalados em caracteres mais escuros e sublinhados.

parâmetros		condições
<b>Cela</b>		
$h_{wi}$	altura do paramento interior das paredes	$h_{wi} = \mu_j w_i; i \in \mathbb{N}$
$\mu_j$	variável para a proporção da altura das paredes	$\mu_j = \underline{\underline{11/14}}^*$
nota: por questões de economia de espaço não se apresenta aqui a totalidade de valores que o parâmetro $\mu_j$ pode tomar: ver <i>Anexo II. Parâmetros e Condições</i>		
<b>Capela-mor</b>		
$h_c$	altura da capela	$h_c = h_{cwi} + h_{cva}$
$h_{cwi}$	altura das paredes	$h_{cwi} = h_{wi} - \varepsilon$
$\varepsilon$	variável da altura das paredes da capela-mor	$\varepsilon \in \{0, \underline{\underline{h_{ent}' - h_{cva}' - h_{cva}}}\}$
$h_{cva}$	altura da abóbada	$h_{cva} = 1/2 w_c$
$h_{ent}'$	altura do entablamento do pórtico interior	
$h_{cva}'$	altura da aduela de fecho do arco da abóbada	
<b>Capelas laterais</b>		
$h_{cl}$	altura da capela	$h_{cl} = h_{clwi} + h_{clva}$
$h_{clwi}$	altura das paredes	$h_{clwi} = \underline{\underline{h_{wi} - h_{ent}' - h_{cva}' - h_{cva}}}$
$h_{clva}$	altura da abóbada	$h_{clva} = 1/2 w_{cl}$
$h_{clva}'$	altura da aduela de fecho do arco da abóbada	
<b>Pódio</b>		
$h_{po}$	altura do pódio	$h_{po} = \omega w_c$
$\omega$	variável relativa à dimensão dos templos	$\omega \in \{\underline{\underline{1/6}}, 1/7, 1/9\}$

Tabela 17. Parâmetros e condições utilizados ao do longo *Estágio 5 : Adição de Pórtico(s)* na derivação das partes dos templos, em que os valores utilizados na derivação da solução exemplificada na Figura 71 a Figura 73 estão assinalados em caracteres mais escuros e sublinhados.

parâmetros		condições
<b>Proto-coluna</b>		
$h_{col}$	altura da coluna	$h_{col} = h_{cap} + h_{fus} + h_{bas}$
$h_{bas}$	altura da base	$h_{bas} = 1/2 d_{col}$
$h_{cap}$	altura do capitel	$h_{cap} = \lambda_{cap} d_{col}$
$\lambda_{cap}$	variável da altura do capitel	$\lambda_{cap} \in \{\underline{\underline{1/2}}, 3/4, 1/3, 1\}$
$h_{fus}$	altura do fuste	$h_{fus} = \lambda_{fus} d_{col}$
$\lambda_{fus}$	variável da altura do fuste	$\lambda_{fus} \in \{7, 8, 9\}$
<b>Proto-entablamento</b>		
$h_{ent}$	altura do entablamento	$h_{ent} = \kappa d_{col}$
$\kappa$	variável do sistema de colunas	$\kappa \in \{2, \underline{\underline{2/6}}\}$
$h_{cor}$	altura da cornija	$h_{cor} = \kappa' h_{ent}$
$\kappa'$	variável do sistema de colunas	$\kappa' \in \{\underline{\underline{1/3}}, 2/5\}$
$l_{ent}$	profundidade do entablamento	$l_{ent} = d_{col}$
$w_{ent}$	largura inferior do entablamento	$w_{ent} = w_{port}$
$w_{ent}'$	largura superior do entablamento	$w_{ent}' = w_{cor}$
$w_{cor}$	largura da cornija	$w_{cor} = w_{port} + 2 h_{cor}$
<b>Proto-frontão</b>		
$w_{ped}$	largura do frontão	$w_{ped} = w_{cor}$
$h_{ped}$	largura da cornija	$h_{ped} = \rho w_{cor}$
$\rho$	variável da altura do frontão	$1/5 \leq \rho \leq \underline{\underline{1/4}}$
$l_{ped}$	altura do frontão	$l_{ped} = d_{col}$

Tabela 18. Parâmetros e condições utilizados ao do longo *Estágio 6: Adição de Coberturas* na derivação das partes dos templos, em que os valores utilizados na derivação da solução exemplificada na Figura 71 a Figura 73 estão assinalados em caracteres mais escuros e sublinhados.

parâmetros		condições
<b>Nave central</b>		
$h_{wc}$	altura paramento exterior das paredes	$h_{wc} = h_{wi} + \mu' h_{va}$
$\mu'$	variável do tipo de cobertura	$\mu' \in \{1/3, \underline{1/2}\}$
$h_{va}$	altura da abóbada	$h_{va} = 1/2 w_i$
<b>Capelas</b>		
$h_{cwc}$	altura paramento exterior das paredes	$h_{cwc} = h_{cwi} + \mu' h_{cva}$
$\mu'$	variável do tipo de cobertura	$\mu' \in \{\underline{1/3}, 1/2\}$
$h_{cva}$	altura da abóbada	$h_{cva} = 1/2 w_c$

Tabela 19. Parâmetros e condições utilizados ao do longo *Estágio 7: Adição de Aberturas* na derivação das partes dos templos, em que os valores utilizados na derivação da solução exemplificada na Figura 71 a Figura 73 estão assinalados em caracteres mais escuros e sublinhados.

parâmetros		condições
<b>Porta</b>		
$h_d$	altura da porta	$h_d = h_{col}$
$w_d$	largura da porta	$w_d = w_v + 2 w_{js}$
$h_v$	altura do vão	$h_v = \psi h_d$
$\psi$	variável da altura do vão	$\psi \in \{10/13, \underline{12/15}, 14/17\}$
$w_v$	largura do vão	$w_v = 1/2 h_d$
$w_{js}$	largura superior das ombreiras	$w_{js} = 1/\psi' h_d$
$\psi'$	variável da largura das ombreiras	$\psi' \in \{13, \underline{15}, 17\}$
$w_{ji}$	largura inferior das ombreiras	$w_{ji} = 15/14 w_{js}$
$h_{li}$	altura do lintel	$h_{li} = w_{js}$
<b>Janelas Termais</b>		
$w_w$	largura da janela	$w_w = w_{va}$
$h_w$	altura da janela	$h_w = 1/2 w_{va}$
$h_v$	altura do vão	$h_v = \psi h_w$
$\psi$	variável da altura do vão	$\psi \in \{\underline{10/12}, 12/14, 14/16\}$
$w_j$	largura da ombreira	$w_j = \psi' h_v$
$\psi'$	variável da largura das ombreiras	$\psi' \in \{\underline{1/12}, 1/14, 1/16\}$
$h_{li}$	altura do lintel	$h_{li} = w_j$
$d_{col}$	diâmetro da coluna	$d_{col} = (w_w - 3i - 2w_j)/2$
$i$	intercolúnio	$i = \delta d_{col}; \delta \in \{3/2, 2, \underline{9/4}, 3, 27/8\}$
<b>Nichos</b>		
$h_{ni}$	altura do nicho	$h_{ni} = 1/3 h_{wi}$
$h_v$	altura do vão	$h_v = \psi h_{ni}$
$\psi$	variável referente à altura do vão	$\psi \in \{\underline{10/14}, 12/16, 14/18\}$
$w_v$	largura do vão	$w_v = 1/2 h_v$
$w_{js}$	largura superior da ombreira	$w_{js} = \psi' h_v$
$\psi'$	variável da largura das ombreiras	$\psi' \in \{\underline{1/14}, 1/16, 1/18\}$
$h_{li}$	altura do lintel	$h_{li} = w_{js}$
$w_{ji}$	largura inferior da ombreira	$w_{ji} = 15/14 w_{js}$
$d_{ni}$	profundidade do nicho	$d_{ni} = \underline{1/2 w_v} \vee d_{ni} = 0$

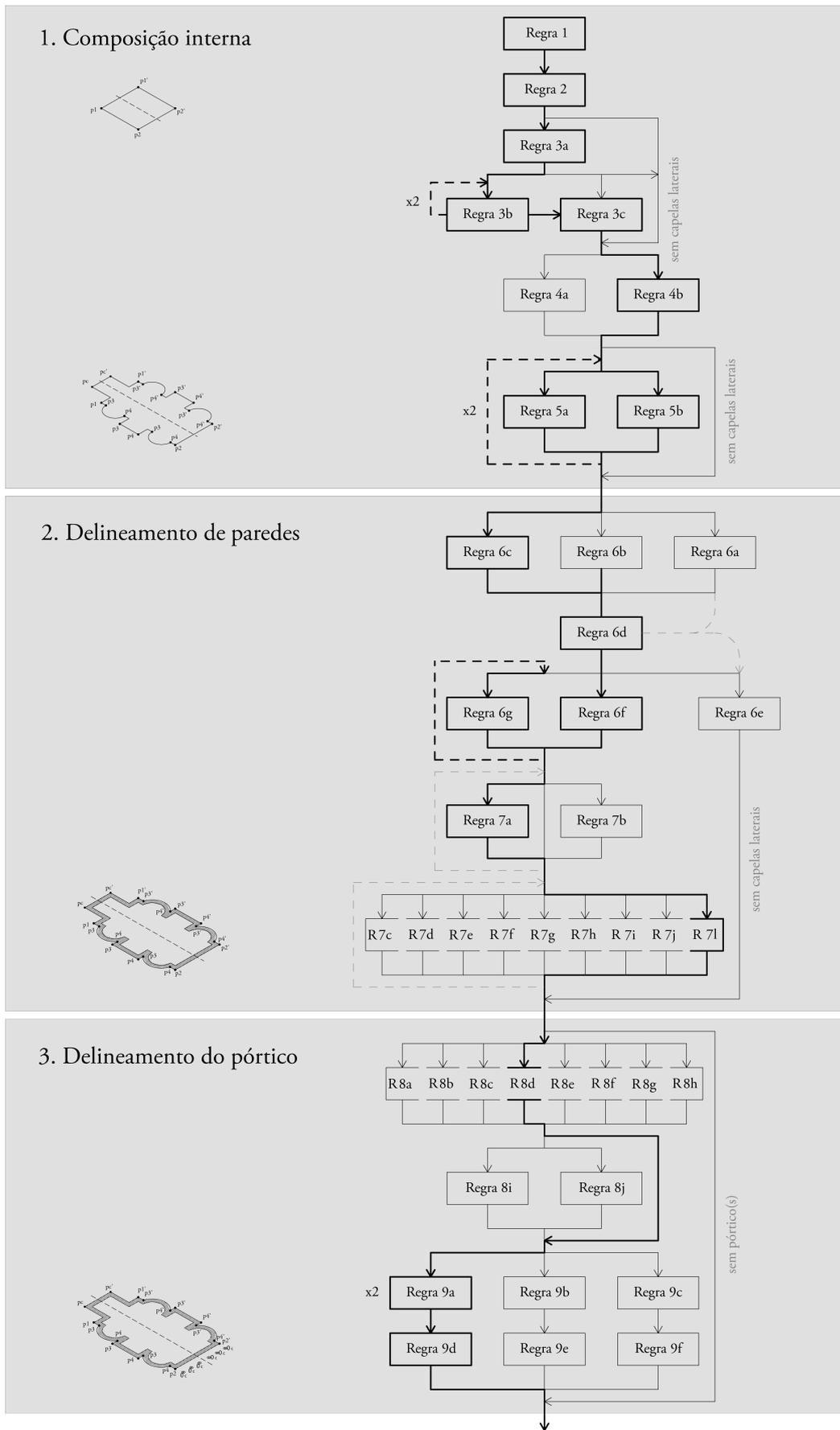


Figura 74. Estrutura recursiva da GF<sub>A</sub> assinalando a sequência de aplicação das regras para a derivação da solução ilustrada nas Figura 71 a Figura 73.

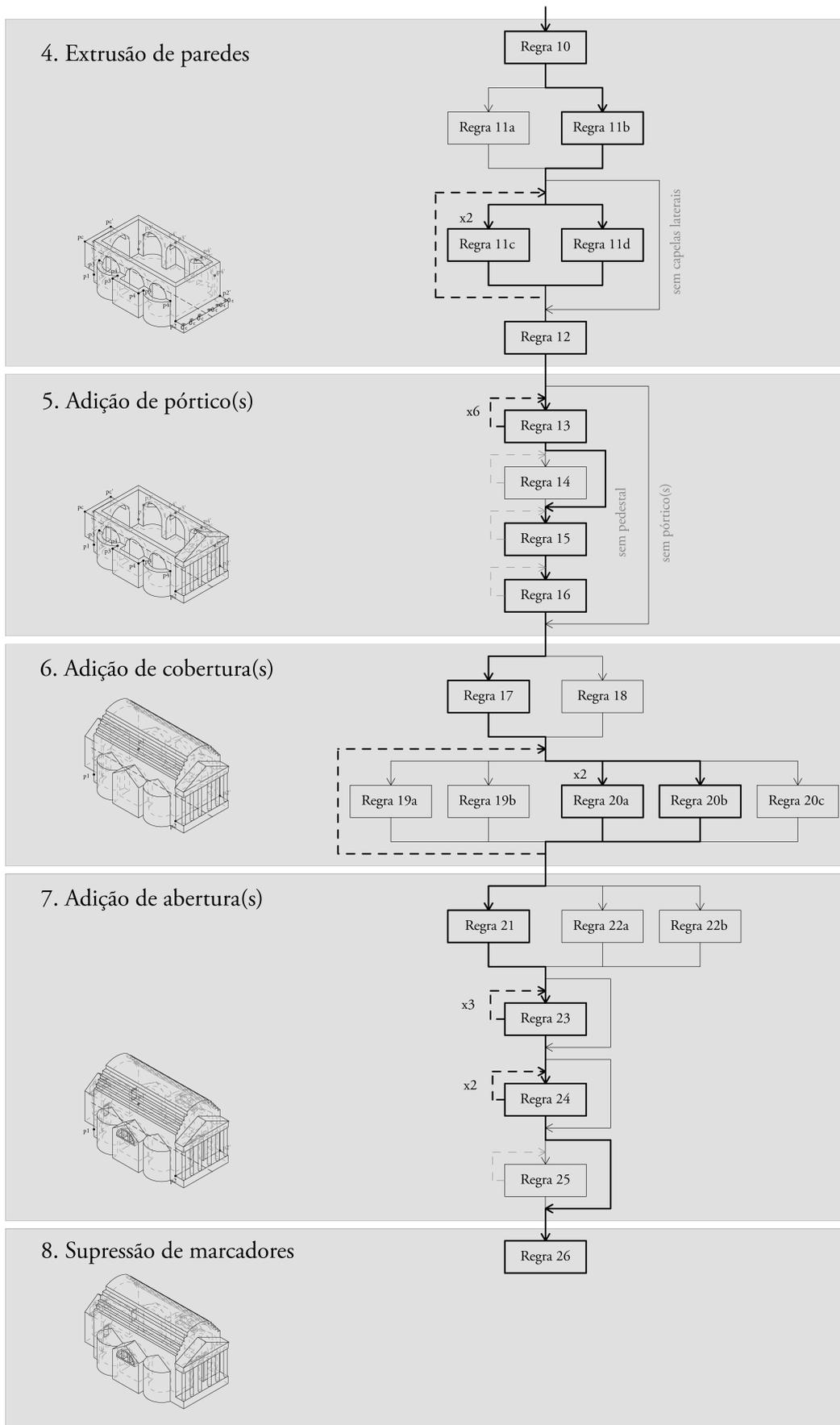


Figura 75. Estrutura recursiva da GF<sub>A</sub> assinalando a seqüência de aplicação das regras para a derivação da solução ilustrada nas Figura 71 a Figura 73 (continuação Figura 74).

### 3.3.3. Universo de soluções da gramática

O cálculo do universo de soluções de uma GF auxilia à compreensão da abrangência da sua linguagem. Nesta investigação, o cálculo do universo de soluções da GF<sub>A</sub> tem ainda objetivo de auxiliar à percepção de afinidades entre estas soluções, isto é, a linguagem de projeto albertiano e o universo de projetos representativos da arquitetura da renascença em Portugal.

Poder-se-á afirmar que existe uma matriz morfológica que define os edifícios sagrados de planta retangular descritos no *De re aedificatoria*. Em traços gerais esta matriz corresponde a um corpo central de geometria retangular – a cela, ao qual podem ser anexados volumes comunicantes com a cela, correspondentes à capela-mor e capelas laterais e ainda a adição de pórticos às fachadas exteriores. Dentro desta matriz, Alberti prevê uma multiplicidade de parâmetros e variáveis que podem adotar diferentes valores. Ainda que menos determinantes à caracterização morfológica destes edifícios, variações ao nível das coberturas e aberturas contribuem igualmente para a variedade de soluções de projeto dentro da linguagem.

Com o objetivo de estimar-se o número de soluções que a GF<sub>A</sub> pode gerar, propõe-se fazer uma breve caracterização da variedade de soluções passíveis de serem inferidas pela GF<sub>A</sub>. Em cada estágio de geração da gramática são introduzidos novos parâmetros e variáveis para a geração de partes específicas dos edifícios, razão para o universo de soluções aumentar proporcionalmente com a progressão dos estágios de derivação.

A Figura 76 representa a árvore de derivações correspondente à aplicação das regras do *Estágio 1. Composição Interna do Edifício*<sup>140</sup> (ver Anexo IV. *Universo de Soluções Gramática dos Edifícios Sagrados de Planta Retangular*). Nesta árvore verifica-se a multiplicidade de composições planimétricas obtidas no final deste estágio. Conforme relatado no subcapítulo 3.2.3.1. *Composição interna do edifício*, a variedade de soluções corresponde a variações na proporção da cela, na existência, ou não, de capela-mor e capelas laterais, bem como na variação das respetivas proporções, geometria e número. No final deste estágio contabilizam-se 377 soluções de projeto. Estas soluções dividem-se em três tipos de composições.

A primeira, mais simples, corresponde a composições em que não se adicionam qualquer tipo de capelas ao corpo da cela: , no total podem ser derivadas 13 soluções deste tipo.

No segundo tipo enquadram-se as soluções compostas pela cela e capela-mor: , podendo ser derivadas 52 variações desta composição.

O terceiro tipo de soluções é composto pela cela, capela-mor e capelas laterais . No total, existem 312 soluções deste tipo, das quais 208 têm apenas um par de capelas, 72 são compostas por 3 pares de capelas, 24 por 5 pares de capelas e 8 por 7 pares de capelas.

---

<sup>140</sup> No Anexo IV. *Universo de Soluções Gramática dos Edifícios Sagrados de Planta Retangular* ilustra-se com maior pormenor as árvores de derivação que constam da Figura 76.



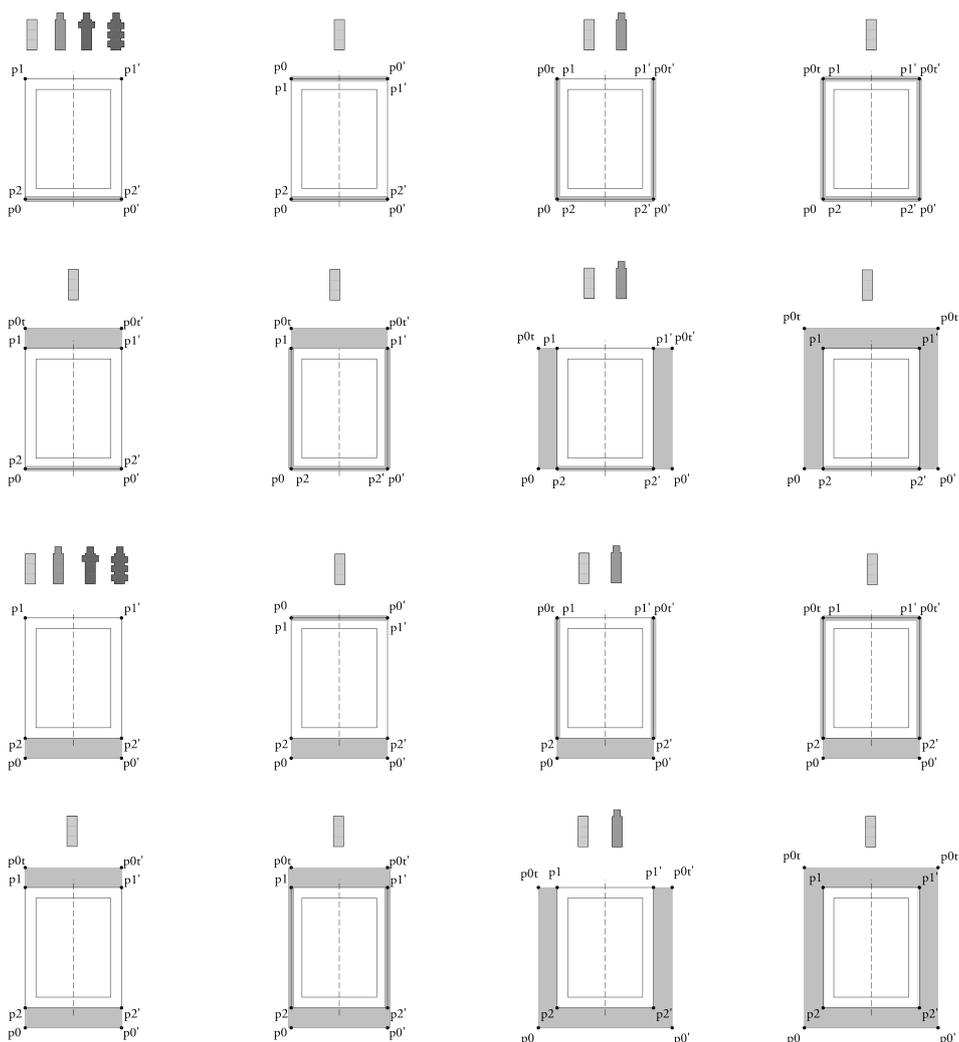


Figura 77. Plantas esquemáticas da localização de pórticos no perímetro da cela, assinalando-se as composições planimétricas que podem albergar a respetiva configuração de pórtico(s). As linhas mais espessas de cor cinzenta indicam fachadas com pórticos adossados. As áreas sombreadas a cinzento indicam áreas para implantação de pórticos soltos.

No *Estágio 2. Adição de Paredes* o universo de 377 soluções herdadas multiplica-se pelo número de valores que a espessura das paredes pode adotar. Como referido no subcapítulo anterior, Alberti refere dois métodos para o cálculo da espessura das paredes. No primeiro método a espessura das paredes toma um *ratio* da altura das paredes, sendo que este *ratio* corresponde à proporção existente entre a altura e o diâmetro das colunas do pórtico. Assim, o número de valores que esta proporção pode adotar depende do sistema colunas adotado.

Conforme exposto, o sistema de colunas é combinatório, pois uma coluna resulta da combinação do capitel, fuste e base, que poderão adotar diferentes sistemas. No total existem 60 combinações possíveis mas apenas 12 *raciones* para o dimensionamento global da coluna. Este cálculo é simples a altura do capitel pode tomar quatro valores do diâmetro da coluna, o fuste três e a base

apenas um<sup>141</sup>, pelo que o produto desta matriz combinatória resulta em 12 relações proporcionais. No segundo método, Alberti prevê que a espessura das paredes tome um de dois *rationes* possíveis da largura do templo. Em suma, no *Estágio 2* de derivação, são possíveis 14 variações na espessura das paredes, perfazendo um universo de 5278 (= 377 x 14) soluções.

As regras do *Estágio 3. Delineamento do pórtico* ampliam o universo de soluções pela diversidade de possibilidades na localização do(s) pórtico(s) e suas dimensões globais. Os pórticos podem adotar 16 disposições possíveis,<sup>142</sup> fazendo variar a sua localização pela frontaria, tardoz e fachadas laterais. Contudo, a localização dos pórticos no tardoz e fachadas laterais está condicionada à não existência de capelas salientes nestas fachadas. Os três tipos de composições planimétricas<sup>143</sup> derivados no *Estágio 1* podem estabelecer diferentes relações com os pórticos. A Figura 77 ilustra as diferentes possibilidades de combinação, explicitando o número de variações da disposição do pórtico para cada tipo de composição do templo. Às combinações ilustradas nesta imagem deve-se considerar ainda um esquema sem adição de qualquer pórtico. A Tabela 20 explica o processo o cálculo do universo de soluções, considerando as diferentes disposições do pórtico.

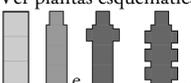
Acresce ainda que para o dimensionamento planimétrico do pórtico (e diâmetro das colunas) são considerados os seguintes parâmetros: (1) intercolúnio, (2) número de colunas ( $n_{col}$ ) e (3) número de colonatas soltas da parede ( $m_{col}$ ). Vejamos por partes, (1) Alberti define 5 tipos de intercolúnios (compacto, subcompacto, elegante, subampliado e ampliado). (2) O número de colunas por colonata do pórtico da frontaria deverá ser definido pelo utilizador da gramática, sabendo-se que deve ser em número par e, no mínimo, composta por quatro colunas. O intercolúnio e dimensões definidas para a frontaria afetam os restantes pórticos que poderão ser adicionados ao perímetro do templo. (3) Similarmente, sabemos que no caso da existência de pórticos soltos na frontaria e tardoz, dentro de determinadas condições, estes pórticos poderão acomodar mais do que uma colonata, fazendo variar a profundidade do pórtico.

Em síntese, ainda que o número de soluções seja finito, no momento da derivação do pórtico, a solução depende do (1) intercolúnio, do (2) número de colunas que compõem o pórtico da frontaria e do (3) número de colonatas que compõe cada um dos pórticos. No processo de derivação de soluções, estes números serão propostos pelo utilizador e concatenados com a configuração e proporções da solução herdada. Dada a dificuldade de calcular o número de variações absolutas, consideramos uma variável representativa da diversidade de soluções produzidas pela variação do número de colunas e colonatas que configuram os pórticos:  $col_{máx}$ .

Com efeito, conforme ilustrado na Tabela 20, para o cálculo do universo de soluções que o *Estágio 3* adiciona, consideramos o produto das variações ao nível da disposição do pórtico com

<sup>141</sup> Ver tabela em 3.2.3.5. *Adição de Pórtico*. O sistema de colunas descrito por Alberti resulta em 60 combinações possíveis mas, em apenas 12 ratios entre a altura e diâmetro da coluna.

<sup>142</sup> Ver plantas esquemáticas representativas da localização do pórtico apresentadas no subcapítulo 3.2.3.3.

<sup>143</sup> 

diversidade de 5 intercolúnios possíveis e com a variável  $col_{máx}$ . O universo de soluções no final do *Estágio 3* corresponde a 78 078  $col_{máx}$ .

Tabela 20. Cálculo do universo de soluções até ao *Estágio 3. Delineamento do Pórtico.*

	Estágio 1.		Estágio 2 .		Estágio 3.			
	Tipos de composição		Espessura das paredes		Disposição do pórtico	Dimensões do pórtico	do	total
	13 variações	x	14 variações	x	16 variações 1 s/pórtico	x 5 $col_{máx}$ -	=	14 560 $col_{máx}$ soluções 182
	52 variações	x	14 variações	x	6 variações 1 s/pórtico	x 5 $col_{máx}$ -	=	14 560 $col_{máx}$ soluções 728
	312 variações	x	14 variações	x	2 variações 1 s/pórtico	x 5 $col_{máx}$ -	=	43 680 $col_{máx}$ soluções 4 368
								72 800 $col_{máx}$ soluções
total	378		5 278		21 294			5 278
								78 078 $col_{máx}$ soluções

Com o *Estágio 4. Extrusão de paredes* o universo de soluções expande com as condições previstas para o cálculo da (1) altura das paredes da cela ( $h_{wi}$ ), da (2) altura das paredes das capelas ( $h_c$ ) e, para a definição da (3) altura do pódio. (1) O universo de soluções para a altura das paredes da cela é condicionado pela proporção da cela ( $l_i:w_i$ ). Estas condições, relativas à *Regra 10. Extrusão das paredes da cela* estão descritas na gramática de descrição que acompanha a  $GF_A$  e são explicitadas na Tabela 21. Na última coluna desta tabela contabiliza-se o número de variações que a altura da parede pode tomar para cada proporção da cela ( $n_{hi}$ ). (2) A altura das paredes da capela-mor detém apenas 2 variações e a altura das paredes das capelas laterais depende dessas variações. Finalmente, (3) para o cálculo da altura do pódio podem considerar-se 3 variações.

A Tabela 22 contabiliza o número de soluções possíveis para todas as proporções da cela resultantes do produto de variações da altura das paredes ( $n_{hi}$ ), com variações da altura das paredes das capelas ( $n_{hc}$ ) e com variações da altura do pódio ( $n_{hpo}$ ):  $n_w = n_{hi} \times n_{hc} \times n_{hpo}$ . Este produto é associado aos três tipos de composição planimétrica para cada uma das proporções que a cela pode adotar. A Tabela 23 cruza estes dados, isto é, o número de variações planimétricas do templo (relativas ao *Estágio 1*) com o número de variações altimétricas que podem adotar (relativas ao *Estágio 4*).

Por fim, a Tabela 24 ilustra do universo de soluções obtidas até ao *Estágio 4*. Este cálculo corresponde ao produto do número de variações da volumetria (*Estágio 1* x *Estágio 4*) multiplicado pelo número de variações introduzidas pelo *Estágio 2* e *3*. No final do *Estágio 4*, o universo de soluções corresponde a 2 288 748  $col_{máx}$  projetos.

Tabela 21. Lista de *rationes* ( $\mu_i$ ) para o cálculo da altura do paramento interior das paredes da cela ( $h_{wi} = \mu_i w_i$ ;  $i \in \mathbb{N}$ ) e número de variações para proporção da cela ( $n_{hi}$ ).

$l_i:w_i$	$\mu_0$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	$\mu_5$	$\mu_6$	$\mu_7$	$\mu_8$	$\mu_9$	$\mu_{10}$	$\mu_{11}$	$n_{hi}$
1:1	1/2 2/3 3/4 11/14	1								1	1	1	5
$\sqrt{4}:\sqrt{3}$	1/2 2/3 3/4 11/14	1							$\sqrt{1}/\sqrt{3}$	1 1/13	1 5/67	1 1/14	9
$\sqrt{3}:\sqrt{2}$	1/2 2/3 3/4 11/14	1			$\sqrt{1}/\sqrt{2}$					1 10/89	1 8/75	1 10/99	9
4:3	1/2 2/3 3/4 11/14	1								1 1/6	1 13/84	1 1/7	8
$\sqrt{2}:\sqrt{1}$	1/2 2/3 3/4 11/14	1				$\sqrt{3}/\sqrt{1}$				1 6/29	1 7/37	1 6/35	9
3:2	1/2 2/3 3/4 11/14	1								1 1/4	1 20/89	1 1/5	8
$\sqrt{3}:\sqrt{1}$	1/2 2/3 3/4 11/14	1					$\sqrt{2}/\sqrt{1}$ $\sqrt{4}/\sqrt{1}$			1 15/41	1 6/19	1 15/56	10
16:9	1/2 2/3 3/4 11/14	1								1 7/18	1 1/3	1 7/25	8
2:1	1/2 2/3 3/4 11/14	1	$3/2$ $4/3$					$\sqrt{3}/\sqrt{1}$		1 1/2	1 29/70	1 1/3	8
9:4	1/2 2/3 3/4 11/14	1								1 5/8	1 1/2	1 5/13	8
8:3	1/2 2/3 3/4 11/14	1								1 5/6	1 50/79	1 5/11	8
3:1	1/2 2/3 3/4 11/14	1		$4/2$ $3/2$						2	1 41/56	1 1/2	8
4:1	1/2 2/3 3/4 11/14	1			$4/2$ $3/2$ $6/3$					2 1/2	2	1 3/5	9

$\mu_0$  - Variáveis descritas no Livro VII

$\mu_{1-3}$  - Variáveis descritas no Livro IX, relativas às proporções harmônicas

$\mu_{4-8}$  - Variáveis descritas no Livro IX, relativas às proporções inatas

$\mu_{9-11}$  - Variáveis descritas no Livro IX, relativas às Mediedades: aritmética:  $\mu_9 = ((w_i + l_i) / 2) / w_i$   
geométrica:  $\mu_{10} = \sqrt{w_i l_i} / w_i$ ; harmônica:  $\mu_{11} = (2w_i l_i / (w_i + l_i)) / w_i$ .

Tabela 22. Contabilização da variações de soluções no *Estágio 4* ( $n_w$ ) para todas as proporções da cela, que decorrem do produto da variação da altura das paredes da cela ( $n_{hi}$ ), com a variação da altura das paredes das capelas ( $n_{hc}$ ) e pódio ( $n_{hpo}$ ):  $n_w = n_{hi} \times n_{hc} \times n_{hpo}$

$l_i:w_i$	1:1	$\sqrt{4}:\sqrt{3}$	$\sqrt{3}:\sqrt{2}$	4:3	$\sqrt{2}:\sqrt{1}$	3:2	$\sqrt{3}:\sqrt{1}$	16:9	2:1	9:4	8:3	3:1	4:1
$n_{hi}$ n. de soluções pela variação da altura das paredes da cela	5	9	9	8	9	8	10	8	8	8	8	8	9
$n_{hc}$ n. de soluções pela variação da altura das paredes das capelas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$n_{hpo}$ n. de soluções pela variação do pódio	3	3	3	3	3	3	3	3	8	3	3	3	3
$n_w$ n. de variações no estágio 4	30	54	54	48	54	48	60	48	48	48	48	48	54

$l_i:w_i$  – proporção da cela

Tabela 23. Cálculo do universo de soluções concatenando as variações do *Estágio 1.* e *Estágio 4. Extrusão de paredes.*

$l_i:w_i$	1:1	$\sqrt{4}:\sqrt{3}$	$\sqrt{3}:\sqrt{2}$	4:3	$\sqrt{2}:\sqrt{1}$	3:2	$\sqrt{3}:\sqrt{1}$	16:9	2:1	9:4	8:3	3:1	4:1	
$n_w$	30	54	54	48	54	48	60	48	48	48	48	48	54	
	1x30	1x54	1x54	1x48	1x54	1x48	1x60	1x48	1x48	1x48	1x48	1x48	1x54	642
	30	54	54	48	54	48	60	48	48	48	48	48	54	
	4x30	4x54	4x54	4x48	4x54	4x48	4x60	4x48	4x48	4x48	4x48	4x48	4x54	2568
	120	216	216	192	216	192	240	192	192	192	192	192	216	
	-	-	-	-	-	-	8x60	8x48	16x48	8x48	16x48	24x48	24x54	5232
	-	-	-	-	-	-	480	384	768	384	768	1152	1296	
total														8442

Tabela 24. Cálculo do universo de soluções até ao *Estágio 4. Extrusão de paredes*

	Estágio 1. e Estágio 4.		Estágio 2.		Estágio 3.		do		Total de soluções
	Composição da cela Extrusão de paredes		Espessura das paredes		Disposição do pórtico		Dimensões do pórtico		
	642 variações	x	14 variações	x	16 variações 1 s/pórtico	x	5 col <sub>máx</sub> 1	=	719 040 col <sub>máx</sub> 8 988
	2568 variações	x	14 variações	x	6 variações 1 s/pórtico	x	5 col <sub>máx</sub> 1	=	719 040 col <sub>máx</sub> 35952
	5232 variações	x	14 variações	x	2 variações 1 s/pórtico	x	5 col <sub>máx</sub> 1	=	732 480 col <sub>máx</sub> 73248
									2 170 560 col <sub>máx</sub>
									118 188
									2 288 748 col <sub>máx</sub>

O *Estágio 5. Adição de pórtico* prevê a adição de todos os elementos que compõem o(s) pórtico(s) que circundam o perímetro do templo. O universo de variações de soluções deste estágio corresponde ao produto das variações de cada uma das partes do pórtico: (1) proto-colunas, (2) proto-pedestais, (3) proto-entablamentos e proto-frontão.

(1) Anteriormente, referimos que o sistema combinatório para o delineamento das colunas prevê 60 soluções possíveis<sup>144</sup>, contudo, a proto-coluna descrita na *Regra 12.*, representativa das 60 soluções resume-se a 12 variações.

(2) As dimensões e delineamentos das partes do pedestal (cimácio, dado e soco) são dependentes do sistema de ornamento e dimensões da base da coluna. Herdada a base da proto-coluna de gerações anteriores, as descrições generativas do pedestal consideram oito variações para o seu delineamento. Estas variações ocorrem pela possibilidade de três parâmetros do pedestal (a largura do dado, a altura do dado e altura do cimácio) poderem tomar dois valores ( $2 \times 2 \times 2 = 8$ ). Como Alberti prevê a possibilidade de não colocação de pedestais sob as colunas devemos considerar mais uma variação, deste modo, a regra de adição de proto-pedestais introduz 9 soluções possíveis.

(3) O entablamento pode ser dórico, jónico ou, coríntio, porém, como as dimensões globais dos entablamentos jónico e coríntio são idênticas, a *Regra 14. Adição de proto-entablamento*, introduz apenas duas variações na composição no universo de soluções do pórtico.

(4) Finalmente, a largura e delineamento do proto-frontão são dependentes da cornija do entablamento, pelo que não acrescenta variações. Contudo, uma vez que Alberti estabelece que a altura da cumeeira do frontão deverá ser deduzida dentro de um intervalo de valores, o número de variações possíveis será infinito dentro desse intervalo. Neste caso, o utilizador da gramática terá a responsabilidade de definir esse *ratio*, dentro das restrições previstas. Este facto demonstra que a regra de adição do proto-frontão não é determinística. Porém, considerar o alargamento deste adje-

<sup>144</sup> Ver tabela em 3.2.3.5. *Adição de Pórtico*. Para a composição de uma coluna, o capitel pode adotar 5 configurações (2 dóricas, 1 jónica, 1 coríntia e 1 compósita), o fuste pode adotar 6 configurações (1 dórica, 2 jónicas, 2 coríntias, 1 compósita) e a base 2 configurações (1 dórica e 1 partilhada por jónicos e coríntios). Por este motivo, o sistema de colunas descrito por Alberti resulta em 60 combinações possíveis. Contudo, em termos de dimensões globais existem apenas 12 ratios possíveis entre a altura e diâmetro da coluna.

tivo à GF<sub>A</sub> parece-nos exagerado, e que não caracteriza a natureza da globalidade da gramática. Esta opção justifica-se pelo facto da variação de soluções do proto-frontão estar circunscrita a um intervalo muito restrito e, com um impacto limitado na variação da morfologia, proporções e configuração do templo.

Em resumo, a geração da proto-coluna poderá adotar 12 variações, o proto-pedestal 9 variações, o proto-entablamento 2 variações e, conforme justificado, desconsideram-se as variações do proto-frontão. Deste modo, o *Estágio 5. Adição de Pórticos* representa um coeficiente de 216<sup>145</sup> novas soluções no universo de soluções herdadas para as soluções que contêm pórticos<sup>146</sup>, pelo que final deste estágio o universo de soluções corresponde a 468 959 148 col<sub>máx</sub><sup>147</sup>.

Alberti prevê a possibilidade de adição de dois tipos de coberturas, coberturas em abóbada e coberturas em duas águas. Ao considerar-se que esta variação se aplica à cobertura da cela e às coberturas das capelas<sup>148</sup>, no total, existem 4 combinações possíveis para as tipologias com capelas, enquanto que os templos sem capelas terão apenas 2 soluções possíveis. Estes dados estão incluídos na Tabela 26, na coluna relativa ao *Estágio 6*. No final do *Estágio 6. Adição de coberturas*, observando-se que o universo de soluções corresponde a 1 875 818 616 col<sub>máx</sub><sup>149</sup>.

O *Estágio 7. Abertura de paredes* consta de regras para a adição de 4 tipos de aberturas, as quais operam segundo parâmetros e condições específicas. Por este motivo observamos de modo autónomo cada uma das variações que ocorrem neste estágio. Estes números e respetivos produtos estão registados na Tabela 25:

(col.1) Alberti prevê 5 possibilidades para o delineamento das portas da frontaria, das quais, 3 abrem frontarias com pórtico (*Regra 20*), correspondendo a variações de proporções utilizadas no sistema dórico, jónico e coríntio. E, 2 tipos de portas em situações onde não existe pórtico adossado à frontaria (*Regra 21*), Alberti aconselha à abertura de uma porta coríntia com pórtico de duas colunas e frontão. Este pórtico pode ser adossado ou solto da parede (2 variações) e, deter 5 variações ao nível do intercolúnio<sup>150</sup>, resultando num total de 10 variações para este tipo de aberturas.

(col.2) Para o cálculo do número de variações pela possibilidade de adição de janelas terminais é necessário ter em conta que: (1) O seu delineamento e proporções variam conforme o sistema de ornamento adotado (dórico, jónico ou coríntio), correspondendo a 3 variações. (2) Podem localizar-se nas paredes da frontaria, tardoz, capela-mor e capelas laterais, de modo singular, ou combinado. Por este motivo, o número de variações depende do esquema morfológico dos templos. (3) Deve considerar-se ainda a possibilidade de não existência de janelas. Em síntese, para o esque-

---

<sup>145</sup> 12 x 9 x 2 x 1 = 216 variações

<sup>146</sup> Do universo de soluções passíveis de derivação até ao *estágio 4*., 2 170 560 col<sub>máx</sub> têm pórticos e 118 188 não têm qualquer pórtico.

<sup>147</sup> 216 x 2 170 560 col<sub>máx</sub> soluções + 118 188 = 468 959 148 col<sub>máx</sub> soluções.

<sup>148</sup> Consideramos a uniformização do sistema construtivo das coberturas de todas as capelas, ainda que Alberti não faça qualquer referência a este facto.

<sup>149</sup> Para auxílio deste cálculo recorreu-se aos dados presentes na Tabela 26 até à coluna relativa ao *Estágio 6. Adição de coberturas*.

<sup>150</sup> Variando entre espaçamentos

ma  consideram-se 3 variações ao nível do delineamento, duas localizações possíveis (frontaria e tardoz), resultando em 3 combinações com janelas e, uma sem qualquer janela:  $3 \times 3 + 1 = 10$  variações. No esquema , acrescem variações ao nível da localização, uma vez que existe a possibilidade de adição de janelas laterais à fachada da capela-mor de planta retangular, pelo que verifica-se apenas em metade das soluções do tipo . No total existem:  $3 \times (3 + 2) + 1 = 16$  variações para este tipo de esquemas. De igual modo, no esquema  acrescem as variações para a adição de janelas nas capelas laterais:  $3 \times (3 + 2 + 4) + 1 = 28$  variações.

(col.3) Tal como nas janelas, o delineamento dos nichos varia conforme os 3 sistemas de ornamento que pode adotar. Os nichos localizam-se em paredes que separam aberturas de capelas. Essa variação é de difícil especificação, uma vez que Alberti não quantifica o número de nichos que se devem abrir. Mais uma vez, ainda que se trate de um número finito de hipóteses, este número é difícil de determinar e é da responsabilidade do utilizador da gramática. Por este motivo, e uma vez que o utilizador pode decidir não colocar nichos, consideramos que os nichos introduzem quatro variações no processo de inferência.

(col.4) A adição de um pórtico de arquitrave à abertura das capelas laterais introduz 12 variações ao nível do sistema de colunas, tal como observado anteriormente, 2 variações para o entablamento e 3 variações para a localização das colunas situadas nas extremidades do pórtico. Como se considera a possibilidade da não existência deste tipo de abertura, o número de variações corresponde ao produto de:  $12 \times 2 \times 3 + 1 = 73$ .

A Tabela 25 sintetiza o cálculo do universo de variações específicos ao Estágio 7, para os diversos tipos de composições planimétricos dos templos, bem como para situações em que existem pórticos, ou não. Por sua vez, esta contabilização é introduzida na Tabela 26 para o cálculo final do número aproximado de soluções que a GF<sub>A</sub> permite derivar. O valor obtido é próximo dos 16 biliões, concretamente 15 763 106 244 480  $col_{máx}$ .

O processo de estimativa do universo de soluções permite ainda duas leituras. (1) Todos os estágios da GF<sub>A</sub> introduzem novas combinações possíveis. (2) Conforme ilustrado na Tabela 27 alguns estágios são mais profícuos no aumento de universo de soluções do que outros.

O *Estágio 7. adição de Aberturas* é o que permite um maior incremento do universo de soluções. Detetam-se dois motivos genéricos para que tal ocorra: é possível adicionar 5 tipos de aberturas; o delineamento e dimensionamento das aberturas depende de sistemas de ornamentos herdados do sistema de colunas, incluindo o seu carácter combinatório.

Segue-se a variedade ao nível morfológico e proporcional desenvolvida no primeiro estágio e a variedade de soluções introduzidas no *Estágio 5*, pela adição dos elementos constituintes do pórtico, às quais ainda se associa a variável  $col_{máx}$ . Por último, uma vez que Alberti só define dois tipos de coberturas, o estágio que introduz menor variedade é o relativo à adição de coberturas.

Tabela 25. Cálculo do universo de variações específicas do Estágio 7. *Abertura de paredes*

Variações relativas ao Estágio 1 e Estágio 3		Regras 20 e 21. Adição de portas		Regra 22. Adição de janelas termais		Regra 23. Adição de nichos		Regra 24. Adição de pórtico entre capelas laterais e nave	=	Estágio 7. Abertura de paredes
	Com pórticos	3 variações	x	10 variações	x	4 variações	x	1 variação	=	120 variações
	Sem pórticos	10 variações								400 variações
	Com pórticos	3 variações	x	16 variações	x	4 variações	x	1 variação	=	192 variações
	Sem pórticos	10 variações								640 variações
	Com pórticos	3 variações	x	28 variações	x	4 variações	x	73 variações	=	24 528 variações
	Sem pórticos	10 variações								81 760 variações
<b>total</b>										<b>107 640 variações</b>

Tabela 26. Cálculo do universo de soluções até ao Estágio 7. *Abertura de paredes*

Estágio 1. e Estágio 4. Composição da cela e Extrusão de paredes	Estágio 2. Espessura das paredes	Estágio 3. Disposição do pórtico	Estágio 5. Dim. do pórtico	Estágio 6. Adição do pórtico	Estágio 7. Adição de coberturas	Abertura de paredes	Total de soluções
 642 variações	x 14 variações	x 16 variações 1 s/pórtico	x 5 col <sub>máx</sub> 1 var.	x 216 var. 1 var.	x 2 var. x	x 120 var. = 400 var. =	37 275 033 600 col <sub>máx</sub> 7 190 400
 2568 variações	x 14 variações	x 6 variações 1 s/pórtico	x 5 col <sub>máx</sub> 1 var.	x 216 var. 1 var.	x 4 var. x	x 192 var. = 640 var. =	178 920 161 280 col <sub>máx</sub> 92 037 120
 5232 variações	x 14 variações	x 2 variações 1 s/pórtico	x 5 col <sub>máx</sub> 1 var.	x 216 var. 1 var.	x 4 var. x	x 24 528 var. = 81 760 var. =	15 522 856 796 160 col <sub>máx</sub> 23 955 025 920
							15 739 051 991 040 col <sub>máx</sub>
							24 054 253 440
<b>Total</b>							<b>15 763 106 244 480 col<sub>máx</sub></b>

Tabela 27. Síntese da estimativa do número de soluções em cada estágio de derivação e a progressão que ocorre em cada estágio.

	Número de soluções	Progressão
<i>Estágio 1 : Composição interna</i>	377	x 377
<i>Estágio 2 : Delineamento de paredes</i>	5 278	x14
<i>Estágio 3 : Delineamento do pórtico</i>	78 078	col <sub>máx</sub> x 14,79
<i>Estágio 4 : Extrusão de paredes</i>	2 288 748	col <sub>máx</sub> x 29,31
<i>Estágio 5 : Adição de Pórtico(s)</i>	468 959 148	col <sub>máx</sub> x 204,9
<i>Estágio 6: Adição de Coberturas</i>	1 875 818 616	col <sub>máx</sub> x 3,99
<i>Estágio 7 : Adição de Aberturas</i>	15 763 106 244 480	col <sub>máx</sub> x 8403,3

O elevado número de soluções que cada estágio pode gerar decorre das características combinatórias e paramétricas das suas regras de forma. Regras que possibilitam diferentes tipos de combinações espaciais e geométricas introduzem variações ao nível da morfologia da soluções que podem adotar, aumentando exponencialmente o número de soluções passíveis de derivação.

Em paralelo, regras que formulam relações espaciais dependentes de parâmetros cujas condições possibilitem uma múltipla escolha de valores para as suas variáveis (proporções e números) fazem aumentar proporcionalmente o número de variações das soluções de projeto.

Verifica-se ainda que as condições que não definem conjuntos de variáveis dificultam o cálculo de valores que um determinado parâmetro pode adotar. Por exemplo, o número máximo e mínimo de colunas que um pórtico pode albergar depende da largura, comprimento e altura do templo, concatenado com o intercolúnio adotado para o pórtico e sistema de colunas. Ou ainda, no âmbito do pórtico da frontaria, Alberti aconselha o cálculo da altura da cumeeira do frontão a partir de um *ratio* da largura da cornija do entablamento, este *ratio* deverá situar-se entre  $1/4$  e  $1/6$ . O facto de se tratar de um intervalo implica uma escolha dentro desse intervalo e essa escolha depende do utilizador da gramática<sup>151</sup>.

Dada a dificuldade de estimar variações em situações tão específicas, consideramos que o número de soluções estimadas serve essencialmente de referência à abrangência da linguagem da  $GF_A$  e auxilia à compreensão dos factores que introduzem maior capacidade generativa na linguagem.

Em suma, a natureza combinatória e paramétrica da  $GF_A$ , e da linguagem de projeto descrita no *De re aedificatoria*, ocasiona um aumento exponencial do número de soluções ao longo dos diferentes estágios de geração. A gramática de forma mostrou ser um modelo computacional eficaz na sistematização do conhecimento edificatório, bem como ser uma ferramenta adequada para tirar partido do elevado grau de liberdade compositivo (combinatório e paramétrico) da linguagem de projeto dos edifícios sagrados albertianos como enunciado no tratado de arquitetura.

### 3.3.4. Um *pseudo*-interpretador da gramática

De acordo com o referido, a tarefa de implementação da  $GF_A$  num programa, ou modelo computacional, através de LPV, tem o objetivo de automatizar o processo de derivação de soluções dentro da linguagem inferida.

A  $GF_A$  é uma gramática paramétrica, por este motivo a sua implementação num modelo computacional de funcionamento paramétrico ( $MCP_A$ )<sup>152</sup> acelera o processo de derivação de soluções e, conseqüentemente, facilita a avaliação da linguagem.

No seguimento dos argumentos explicitados no subcapítulo 3.4.4. *Implementação de gramáticas de forma* a LPV selecionada para a implementação da gramática foi o *Grasshopper (GH)*. Outro factor que influenciou a escolha do *GH*, foi o facto de ser o ambiente informático utilizado por outros investigadores do projeto Alberti Digital (Castro e Costa, 2012; Coutinho, 2014) na imple-

---

<sup>151</sup> Neste caso poder-se-ia acrescentar que o sistema numérico utilizado pode restringir o número de variações. Se considerarmos que Alberti utilizaria apenas números inteiros e fraccionais, limitaríamos o espetro de variações do intervalo  $[1/6, 1/4]$ . Se considerássemos que o denominador não varia, sendo sempre igual a 1, então apenas se consideraria mais um valor que seria  $1/5$ , isto é, um conjunto igual a:  $\{1/6, 1/5, 1/4\}$ . Porém, se o denominador poder tomar outro número inteiro que não 1, por exemplo, 2, o número de variações aumenta proporcionalmente.

<sup>152</sup> Propomos a utilização do acrónimo  $MCP_A$  para nos referirmos ao modelo computacional paramétrico que implementa a gramática da forma dos edifícios sagrados de planta retangular, conforme enunciados por Alberti no *De re aedificatoria*.

mentação de modelos computacionais da sistematização da coluna de Alberti, facilitando a migração de partes do código entre os vários programas desenvolvidos no projeto.

### *O mecanismo essencial do funcionamento de Grasshopper*

O *GH* caracteriza-se por implementar modelos computacionais através de um mecanismo de combinação de elementos extremamente simples, recorrendo a metáforas em que as primitivas<sup>153</sup> podem ser combinadas pela ligação do resultado de uma primitiva como entrada para outra primitiva. O fluxo de dados faz-se metaforicamente através de ligações (*wires*), que conectam as diversas primitivas até à primitiva que se encontra no final do grafo, normalmente correspondente a modelos geométricos. O *GH* opera diferentes tipos de primitivas para além de primitivas geométricas<sup>154</sup> destacam-se números, sequências de caracteres alfanuméricos, transformações euclidianas e não-euclidianas, operações booleanas, funções, condicionais, iterações e listas de dados. No *GH* os elementos icónicos para implementação metafórica de primitivas denominam-se de *components*.

Neste paradigma de programação, a associação de diferentes primitivas para a geração de uma forma permite que se desenvolvam modelos geométricos de funcionamento paramétrico cujos resultados generativos resultam numa família de soluções.

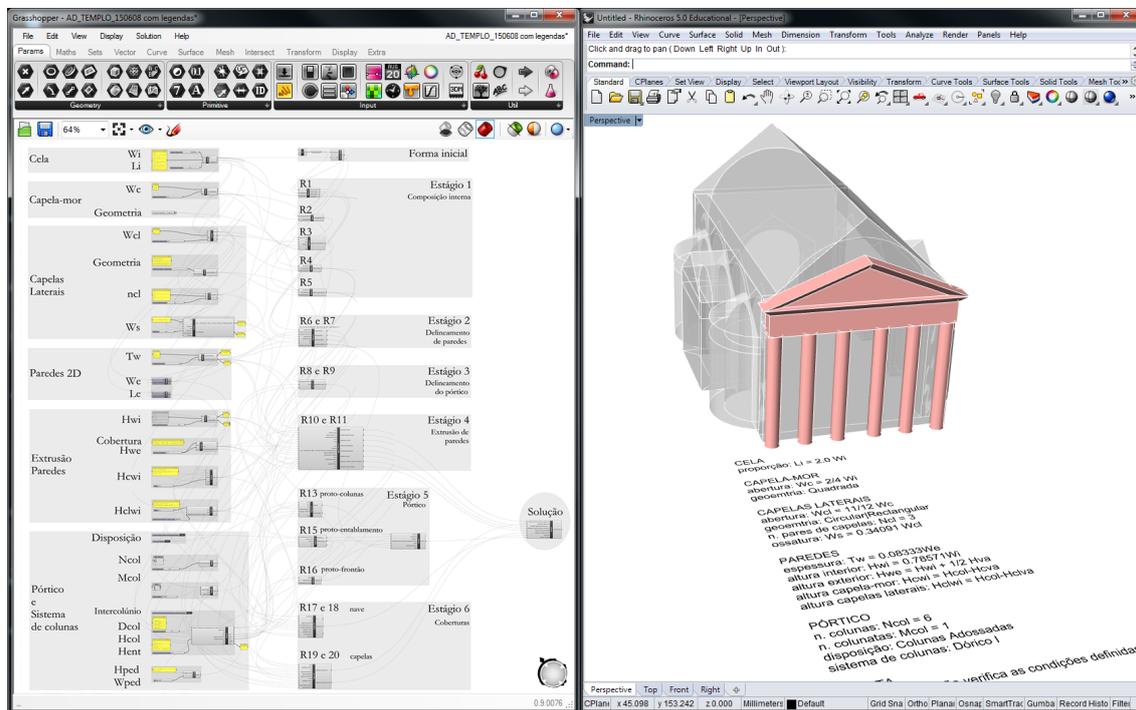


Figura 78. À esquerda, interface gráfica do *Grasshopper*, apresentando a estrutura base do MCPA. À direita, interface gráfica do *Rhinoce-ros*, apresentando a solução gerada em função dos parâmetros definidos em *Grasshopper*.

<sup>153</sup> “Elementos primitivos são as entidades mais simples com que a linguagem lida. Os elementos primitivos podem ser divididos em dados primitivos e procedimentos primitivos. Um número, por exemplo, é um dado primitivo.” (Leitão A. M., 2007)

<sup>154</sup> O *GH* permite a criação e manipulação de todas as geometrias presentes no *Rhinoce-ros*, cobrindo todo o tipo de geometrias bidimensionais até às mais complexas superfícies tridimensionais NURBS.

A Figura 78 ilustra o ambiente de trabalho para a execução e utilização do MCP<sub>A</sub>. No lado esquerdo da imagem apresenta-se o aspeto global da estrutura do MCP<sub>A</sub> no interface gráfico do *GH* no lado direito da imagem surge o interface gráfico do *Rhinoceros*, onde visualiza-se a solução de projeto correspondente aos valores que o utilizador atribui a cada um dos parâmetros. Se o utilizador alterar algum desses valores, ou introduzir alterações ao modelo computacional, essas alterações afetarão de imediato a solução em geração. A solução corresponde a um modelo digital, bidimensional ou tridimensional, que poderá ser visualizado e editado em qualquer programa de CAD.

A abstração de conceitos pela subdivisão de um modelo computacional complexo em diversos módulos menos complexos — modularização —, é considerada uma boa prática por auxiliar à clarificação da estrutura e ao depuramento do modelo computacional (Scott, 2006). Em *GH*, a otimização da capacidade de abstração dos modelos computacionais pode ser implementada através de um *component*, o *cluster*. O *cluster* permite que o programador coloque em destaque uma primitiva, consoante a sua relevância e função na estrutura do modelo computacional, sem mostrar o conjunto de sub-rotinas em que se encerra<sup>155</sup>. Este processo justifica-se sobretudo em situações em que as sub-rotinas não têm relevância para a conhecimento do modelo e iriam dificultar a leitura do mesmo.

De acordo com Leitão & Santos (2011, p. 556), o recurso a metáforas tem a vantagem de simplificar o mecanismo de implementação computacional, porém introduz limitações ao nível de operações de controlo que implicam a um funcionamento cíclico (*loops*), tais como iteração e recursão. Estas limitações são parcialmente superadas pelo facto dos componentes do *GH* mapearem as suas operações sobre sequências de valores (*lists*), evitando a maioria de situações em que são necessárias operações cíclicas.

Programadores independentes têm desenvolvido *plug-in's* para o *GH* com o intuito de colmatar estas limitações, dois dos exemplos mais conhecidos são o *HoopSnake*<sup>156</sup> e o *Anemone*<sup>157</sup>, aplicações que permitem a implementação de funções cíclicas no *GH* superando limitações da versão base. A facilidade de adição de novas funcionalidades ao *GH* contribui em grande parte para o seu sucesso e crescente número de utilizadores deste programa.

Para além destes aspetos, acresce que o *GH* integra *components* que implementam API's para programação em LPTs, permitindo ultrapassar os limites inerentes à natureza visual do *GH*<sup>158</sup>. Com efeito, se o programador não quiser restringir-se às limitações inerentes às LPVs terá que dominar LPTs. Em suma, o *GH* tem flexibilidade suficiente para que um utilizador não especialista se inicie no âmbito da programação, através da sua LPV, permitindo-lhe evoluir para LPT quando necessitar de ferramentas que o *GH* não dispõem em ícones. Na implementação da GF<sub>A</sub> em *GH*

---

<sup>155</sup> A propósito da função do componente *Cluster* no *Grasshopper* ver: (Davis, 2013, p. 132).

<sup>156</sup> O *HoopSnake* foi criado por Yannis Chatzikonstantinou. Para mais informações ver: <http://yconst.com/software/hoopsnake/> (Chatzikonstantinou).

<sup>157</sup> O *Anemone* foi criado por Mateusz Zwierzycki. Para mais informações ver: <http://www.grasshopper3d.com/group/anemone> (Zwierzycki).

<sup>158</sup> O *Grasshopper* fornece três *components* dedicados a três linguagens de programação distintas: C #, Visual Basic e Python.

deparamo-nos com a impossibilidade de implementar ciclos de iterações pelo recurso a LPV. Nestas situações, recorremos ao editor de *script* de *Python*. A Figura 79 ilustra uma dessas situações.<sup>159</sup>

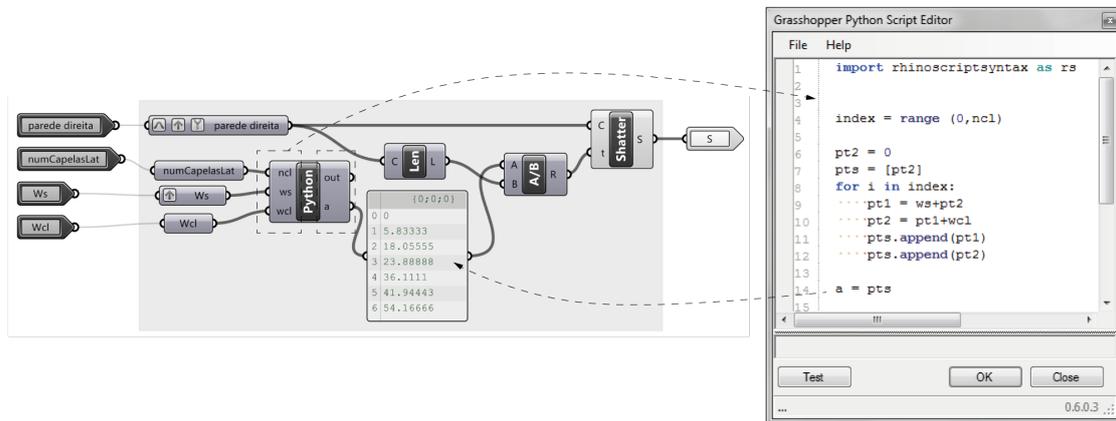


Figura 79. À esquerda, módulo computacional para a definição das aberturas das capelas laterais quando  $Ncl > 1$ . Assinala-se o *component* de editor de *script* de *Python*. À direita, API do editor de *script* de *Python*, com código para a definição das dimensões das aberturas das capelas laterais e ossaturas entre as aberturas. O código faz um ciclo iterativo de cálculo para cada uma das capelas laterais, neste caso tratam-se de 3 pares de capelas, pelo que são calculados 7 dimensões, do índice 0 a 1, corresponde a primeira ossatura, de 1 a 2, a abertura da primeira capela, de 2 a 3, a segunda ossatura e, assim sucessivamente.

### Implementação de uma gramática de forma num modelo computacional paramétrico

No processo de implementação da  $GF_A$  procurou-se modularizar o  $MCP_A$  pelo agrupamento de componentes em grupos e *clusters* de modo análogo à estrutura da  $GF_A$  e respetivas regras de forma.

A Figura 80 mostra uma visão global do  $MCP_A$  no interface do *GH*. Nesta imagem é compreensível que a estratégia de modularização consistiu na definição de três conjuntos de módulos. O primeiro conjunto consiste na implementação dos parâmetros e condições herdadas da  $GF_A$ , permitindo o controlo interativo de variações paramétricas da solução. O segundo conjunto de módulos consiste na definição computacional das relações espaciais herdadas das regras de forma, automatizando a geração formal das partes do edifício. Em geral, o primeiro conjunto de módulos alimenta o segundo conjunto de módulos com primitivas necessárias à geração dentro de cada uma das “regras”.

A Figura 81 exemplifica este tipo de dependência ao ilustrar a relação entre primitivas do módulo de controlo paramétrico da proporção da cela e o módulo para a sua geração. Neste caso, a proporção da cela ( $W_i: L_i$ ) é controlada através de uma barra de deslocação (*slider*), podendo variar no índice de valores da lista de proporções que a cela pode adotar ( $L$ ). Esta proporção é uma primitiva de entrada no módulo de geração ( $e$ ) cujo conteúdo corresponde ao modelo de geração ( $e$ ) de um retângulo correspondente ao perímetro interno da cela.

<sup>159</sup> Poder-se-á referir que este facto contradiz a natureza das LPV.

### Módulos de controlo do modelo computacional:

- . definição computacional dos parâmetros e condições herdadas da gramática de forma.
- . introdução de *components* para manipulação de interactiva de variações paramétricas.

### Módulos de geração formal:

- . definição computacional das relações espaciais herdadas das regras de forma, automatização da geração da forma.
- . subdivisão das “regras gerativas” por módulos (*clusters*).

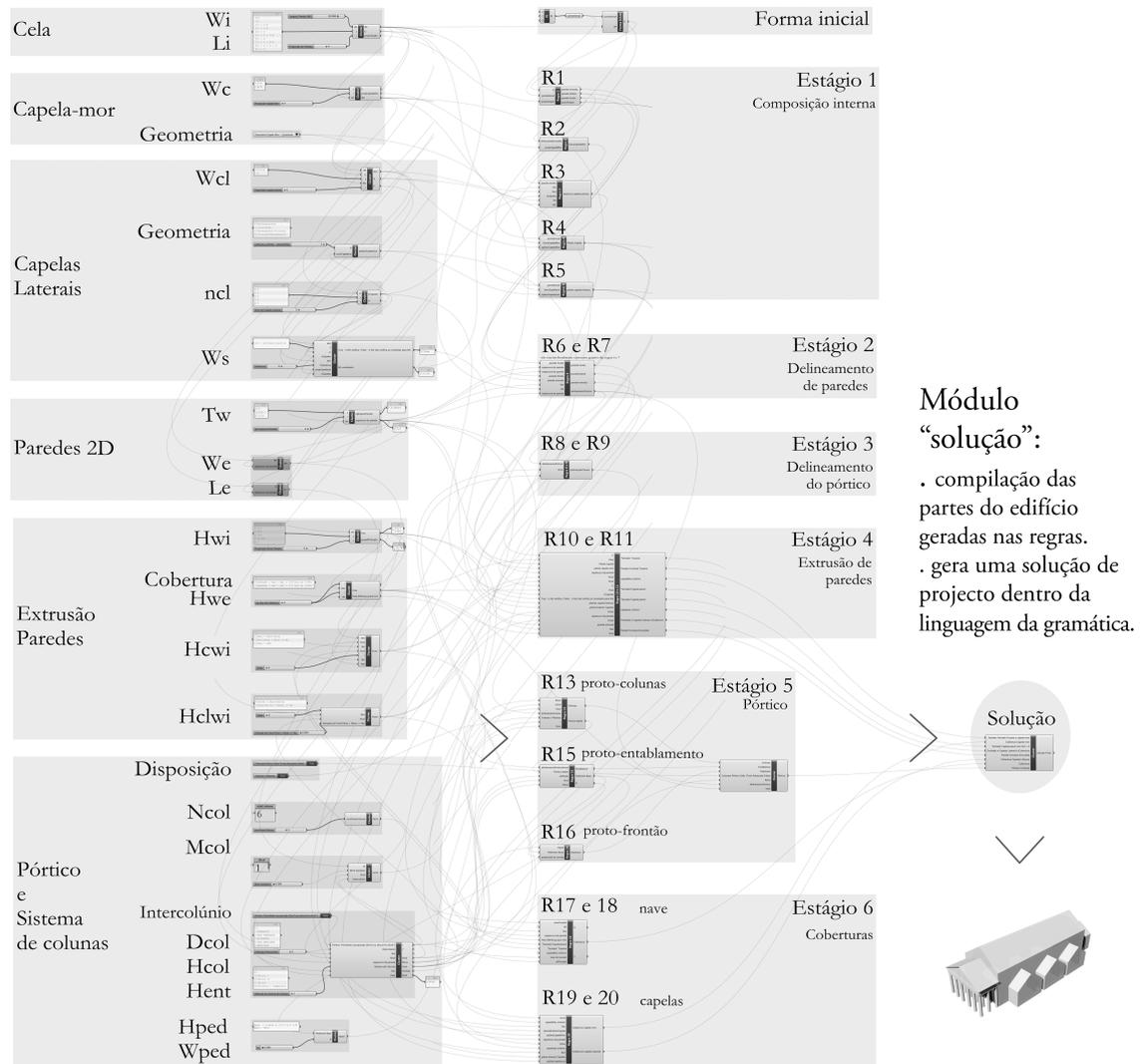


Figura 80. Vista global do MCPA e exemplo de uma solução de projeto.

Similarmente ao que sucede na  $GF_A$ , em algumas situações, os módulos de controlo paramétrico e os módulos de geração formal dependem de primitivas inferidas noutros estágios de geração. Por exemplo, a capacidade generativa das *Regras 10 e 11* depende de primitivas definidas em módulos de controlo paramétrico relativos à extrusão de paredes e adição de coberturas, mas também, de características formais relativas ao delineamento das paredes e pórtico.

Finalmente, é considerado um módulo “solução” com a tarefa de programar a concatenação de todas as partes do templo num único modelo tridimensional. Esta operação é importante por exemplo para operações subsequentes de fabricação digital

Tal como algumas das regras da GF<sub>A</sub> se assemelham, no MCP<sub>A</sub> fez-se o esforço para a implementação de componentes similares. Por exemplo, na *Regra 2*, dedicada à abertura da capela-mor e, *Regras 3a* e *3b*, dedicadas à abertura das capelas laterais, utiliza-se o mesmo conjunto de componentes, fazendo-se apenas variar os parâmetros que se associam a cada uma delas.

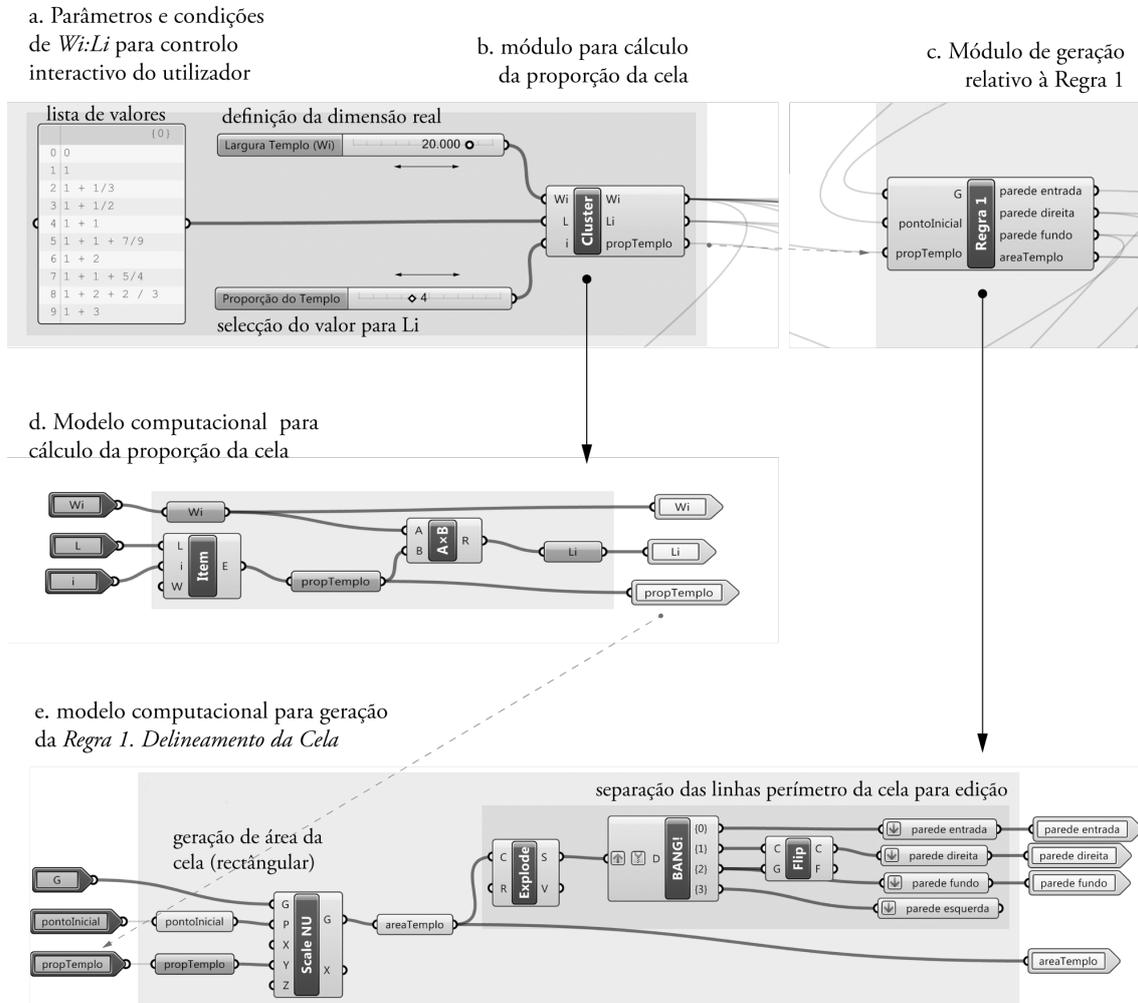


Figura 81. Extratos do MCP<sub>A</sub> no ambiente do GH. Ilustra-se a relação entre o módulo computacional para controlo da proporção da célula e o módulo de geração do perímetro interno da célula.

Como referido, o MCP<sub>A</sub> foi desenvolvido a partir do conhecimento sistematizado no processo de inferência da GF<sub>A</sub>. Tal como a GF<sub>A</sub>, o MCP<sub>A</sub> gera edifícios sagrados de planta retangular de acordo com os princípios edificatórios descritos no *De re aedificatoria*. O resultado generativo do MCP<sub>A</sub> depende das variáveis que o utilizador decide aplicar em cada um dos parâmetros. Similarmente ao que sucede na GF<sub>A</sub>, no MCP<sub>A</sub> a manipulação das variáveis dos parâmetros determinam as relações espaciais, geometrias, números e proporções da solução de projeto. No desenvolvimento do MCP<sub>A</sub> tentou-se que o utilizador do MCP<sub>A</sub> tivesse consciência dos parâmetros que manipula, isto é, dos parâmetros pelos quais variam as soluções dentro da linguagem. O *Remote Control Panel* é uma ferramenta do GH que permite associar primitivas variáveis num painel para que o utilizador experimente variações generativas de modo interactivo. A Figura 82 exemplifica a relação que existe entre

o *Remote Control Panel* da MCP<sub>A</sub> e os módulos de controlo paramétrico do pórtico e sistema de colunas e, ainda a solução gerada acompanhada de uma legenda descritiva gerada automaticamente com a solução.

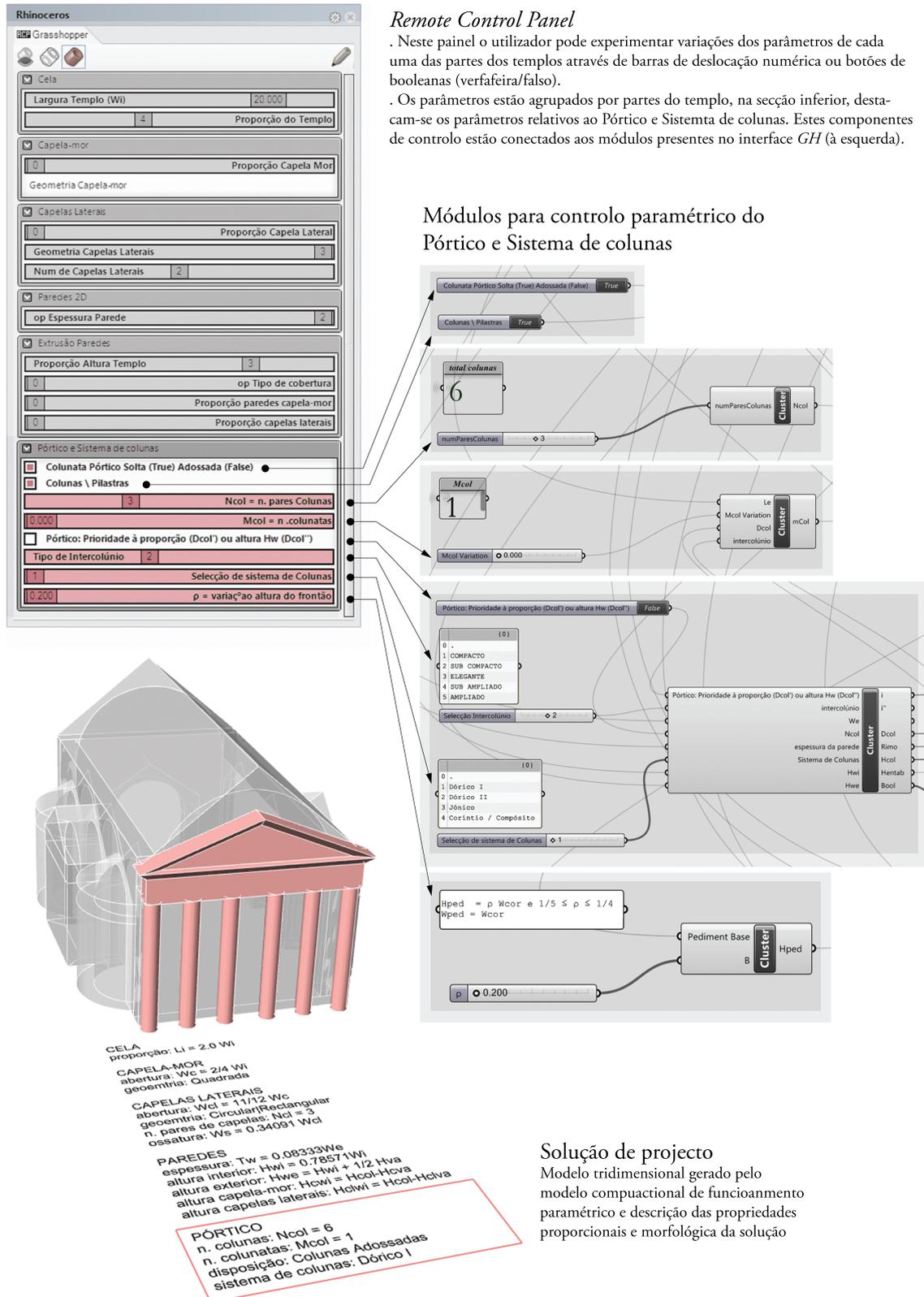


Figura 82. Fluxo de controlo dos parâmetros específicos do pórtico e sistema de colunas.

Uma das diferenças significativas entre os resultados generativos da  $GF_A$  e do  $MCP_A$  é a representação das soluções geradas. A  $GF_A$  é constituída por 4 gramáticas paralelas que providenciam a representação de soluções em planta, corte, alçado e vista axonométrica (representadas pelo recurso a diferentes álgebras), contudo estas representações são todas elas, incluído a vista axonométrica modelos bidimensionais. Por outro lado, a  $MCP_A$  gera modelos digitais tridimensionais. Este facto dá-se porque o  $GH$ , e o programa que o acolhe, o *Rhinceros*, suportam o desenvolvimento de modelos tridimensionais (Figura 83). Interessa referir que o  $MCP_A$  não implementa as regras de forma relativas à adição de aberturas. Esta tarefa não foi executada porque não iria acrescentar informação relevante à investigação em desenvolvimento, podendo ser acrescentada em qualquer momento que se considere necessária. Por este motivo, o universo de soluções da  $MCP_A$  é mais restrito do que a  $GF_A$

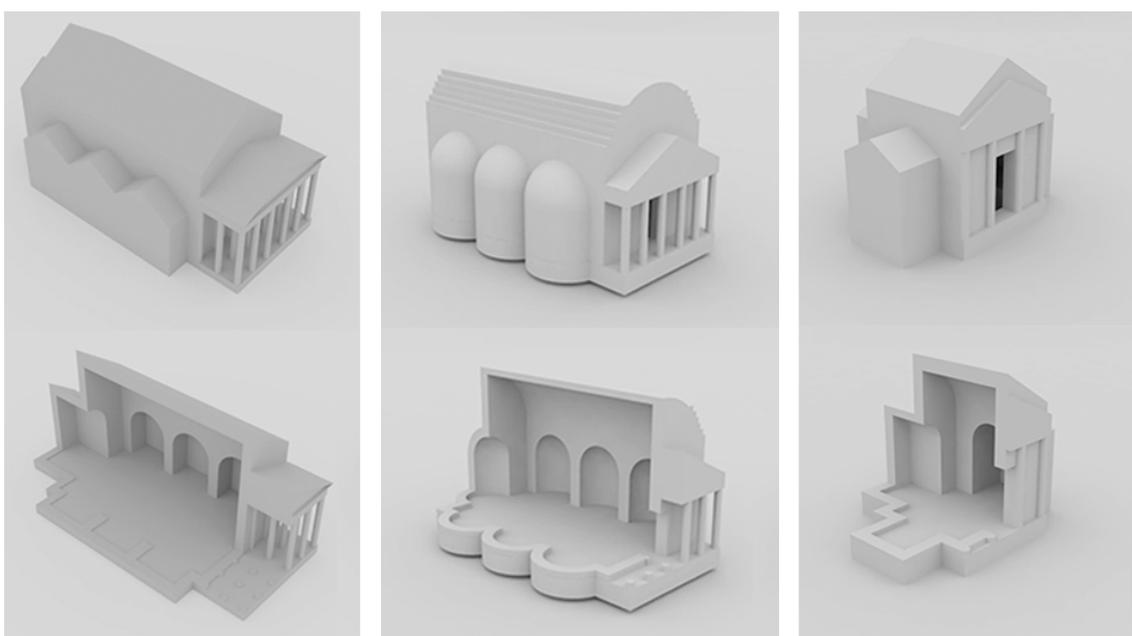


Figura 83. Três soluções geradas pela implementação da GFA num modelo computacional paramétrico. As três soluções demonstram variações na morfologia e proporções.

#### *Virtudes e vicissitudes da implementação da gramática de forma*

A implementação da  $GF_A$  no  $MCP_A$  demonstra que um modelo computacional paramétrico, desenvolvido através de LPV, pode compilar o sentido generativo de uma GF paramétrica e respetivas regras de forma paramétricas. O estabelecimento de correspondências entre a estrutura e regras de forma da  $GF_A$  e a estrutura, rotinas e sub-rotinas do  $MCP_A$  facilitou o processo de implementação e a fidelidade do seu universo de soluções do  $MCP_A$  com a linguagem da gramática.

Um dos aspetos de maior destaque é o facto da implementação da  $GF_A$  providenciar um mecanismo de geração mais célere para exploração interativa em tempo real do espaço de soluções

de projeto definido pelo tratado<sup>160</sup>. No contexto dos objetivos didático-pedagógicos do projeto *Alberti Digital*, esta implementação constituiu a base computacional para o desenvolvimento de um interface de realidade virtual que possibilita a interação amigável com os utilizadores e a exploração intuitiva do universo de projeto de Alberti (Figueiredo et al., 2014).

Deve-se referir que a implementação do MCP<sub>A</sub> documentada neste subcapítulo não se trata de um interpretador da GF<sub>A</sub>. Um interpretador de uma GF deve ser capaz de realizar duas tarefas: reconhecer automaticamente formas e aplicar transformações a essas formas (Chau, Chen, McKay, & Pennington, 2004). Conforme relatado no capítulo anterior, o reconhecimento automático de formas é um problema computacional complexo que não foi possível implementar. Por este motivo, o MCP<sub>A</sub> só opera transformações sobre entidades geométricas previstas à partida, não detendo capacidade de emergência. No entanto, pode-se considerar o MCP<sub>A</sub> uma implementação válida da GF<sub>A</sub>, uma vez que gera soluções dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>. Por simular parte das funcionalidades de um interpretador, nomeia-se de *pseudo*-interpretador à implementação *GH* da GF<sub>A</sub>.

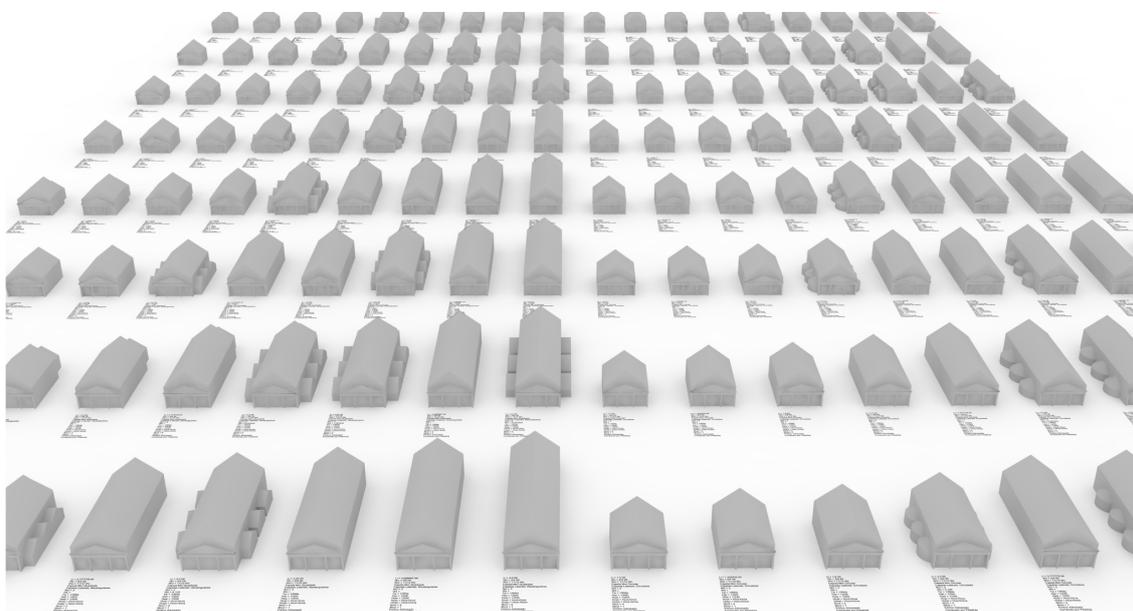


Figura 84. Amostra do universo de soluções geradas pela implementação da GF<sub>A</sub> num modelo computacional paramétrico.

### 3.3.5. Avaliação prévia da gramática

O universo de soluções gerados por uma GF é utilizado para o apuramento da validade da mesma. A abrangência destas soluções determina se a gramática verifica os valores descritivo, analítico e

---

<sup>160</sup> A implementação das gramáticas de forma inferidas do *De re aedificatoria* e da obra construída de Alberti em programas permitiu automatizar a derivação de modelos digitais, posteriormente, concebidos em modelos físicos por prototipagem rápida. Estes modelos foram incluídos na exposição *Alberti Digital: Tradição e inovação na teoria e prática da Arquitectura em Portugal*, organizada no âmbito do projeto de investigação com o mesmo título e, concebida para descrever e celebrar a obra de Alberti e sua influência na arquitetura portuguesa

sintético e, conseqüente se formula uma linguagem de projeto (Stiny & Mitchell, 1978). No capítulo anterior, referimos que estes valores foram resumidos por Duarte (2001, pp. 37-38) nas seguintes questões: Poderá a gramática gerar projetos no *corpus*? Poderá a gramática gerar projetos existentes não incluídos no *corpus*? Poderá a gramática gerar projetos no mesmo estilo?

Ao contrário do que sucede com as gramáticas analíticas mais referenciadas, como a gramática das *Villas* de Palladio, a gramática *Yingzao fashi* e a gramática da Malagueira, o *corpus* da GF<sub>A</sub> não é composto por projetos nem edifícios, mas descrições de princípios e regras edificatórias. Por este motivo, os critérios mencionados não podem ser aplicados de modo estrito à GF<sub>A</sub>. O teste descritivo da GF<sub>A</sub> é redundante, isto é, o processo de inferência da GF<sub>A</sub> força a que todas as soluções de projeto estejam contidas no seu *corpus*. Simultaneamente, a generalidade dos projetos derivados pela GF<sub>A</sub> são projetos originais, pelo que a GF<sub>A</sub> verifica a sua capacidade sintética. Neste subcapítulo mostrou-se a capacidade generativa da GF<sub>A</sub> pela derivação de uma solução de projeto (Figura 71 a Figura 73), este exemplo comprova o teste sintético da GF<sub>A</sub> porque o tratado não formaliza as premissas edificatórias que descreve e, porque desconhece-se a existência de um projeto similar. Em certa medida, o tratado formula as regras, mas não define a “máquina de cálculo”<sup>161</sup> que formaliza as soluções de projeto.

Finalmente, o teste analítico, correspondente à questão central desta dissertação: Poderá a gramática GF<sub>A</sub> gerar projetos existentes não incluídos no *corpus*? Nomeadamente, gerar projetos representativos da arquitetura Portuguesa no período da Contrarreforma?

Contudo, antes de nos focarmos no método utilizado para responder a este teste, interessa referir que a validação analítica da GF<sub>A</sub> não está dependente da sua capacidade de gerar soluções existentes no cânone da arquitetura portuguesa. Esta validação e correspondência pode surgir de outros contextos edificados, sendo que o mais óbvio é o conjunto de edifícios sagrados projetados por Alberti. A este facto acresce que a arquitetura portuguesa no período da Contrarreforma pode ter sofrido influxo direto do conhecimento das obras edificadas de Alberti, ou seja, no contexto da nossa investigação é pertinente estender o teste analítico da GF<sub>A</sub> à obra construída de Alberti para posteriormente inferir a sua possível influência no contexto português.

Posto isto, perante a extensão do universo de soluções da GF<sub>A</sub>, a elaboração de um teste analítico que passe pela derivação de todas as soluções da GF<sub>A</sub>, comparando-as com os exemplos de *corpus* de edifícios poderia demorar muito tempo, quer no âmbito da obra edificada de Alberti, como no contexto da arquitetura da Renascença portuguesa. Acresce que este processo de identificação de analogias de projeto não se deve resumir às características de composição espacial e morfológicas, mas incluir a inferência de semelhanças ao nível das proporções e números. Por estes motivos, realizamos um teste analítico inverso<sup>162</sup>, isto é, um teste que avalia parcialmente a presença de características

---

<sup>161</sup> A expressão “máquina de cálculo” serve de metáfora para a relação entre a entidade e indivíduo que monta o sistema de projeto a partir do conhecimento albertiano. Podendo corresponder ao processo de definição de projeto feito por um arquiteto por meios tradicionais, ou através da definição de um sistema generativo, como é o caso das GFs, que será sempre mediado pelo gramatista, no modo como interpreta as regras edificatórias albertianas.

<sup>162</sup> Designamos de inverso porque tal como na engenharia inversa ou reversa, em que se parte do modelo físico para o virtual pela decomposição dos seus componentes, inferindo a sua composição espacial, dimensões e proporções.

(morfológicas e proporcionais) de edifícios no conhecimento edificatório inferido do *De re aedificatoria* e patente nas regras da GFA. Inicialmente, este teste foi executado para a obra construída de Alberti, conforme apresentado no *Capítulo 5*, seguindo-se a realização do mesmo teste no contexto da arquitetura Portuguesa, de acordo com o exposto no *Capítulo 6*.

### 3.4. Sumário

A maioria das GFs analíticas de referência provêm de definições enumerativas parciais (Li, 2001, p. 9), isto é, são inferidas pela análise de um *corpus* de edifícios que por si só não detêm capacidade generativa. Porém, o *De re aedificatoria* corresponde a um sistema descritivo de capacidade generativa de uma linguagem parcial da linguagem original. Vejamos este argumento por partes:

(1) O tratado é composto por descrições textuais que retratam o delineamento, construção e ornamento de edifícios. Estas descrições beneficiam de uma natureza algorítmica que permite gerar soluções de projeto.

(2) A natureza do pensamento arquitetônico presente no *De re aedificatoria* não permite que este constitua uma linguagem completa, mas apenas uma linguagem parcial dessa linguagem. Alberti não permite que essa mesma linguagem seja completa ao propor-se formular um sistema que inclui a globalidade de princípios da arte edificatória para o delineamento, construção e ornamento do todo edificável. Esta tese verifica-se em dois aspetos inerentes à natureza do tratado:

(a) Dado o sistema arquitetônico que desenvolve, Alberti prevê que o leitor - arquiteto, no contexto específico do projeto eleja um cânone (morfológico, proporcional e de beleza) em detrimento de outro, o cânone correto dentro do sistema de projeto pré-definido.

(b) Por vezes é omissa na descrição de partes do edifício, no caso específico dos edifícios sagrados, por exemplo, não dá indicações para a altimetria das capelas, pelo que este conhecimento terá que ser inferido pelo leitor a partir de descrições relativas a partes análogas, ou introduzir referências externas ao tratado, ou ainda, desenvolver os seus princípios.

É certo que o *De re aedificatoria* contém linguagens parciais explícitas, mas a linguagem original da arte edificatória albertiana é aberta. A linguagem completa só é alcançável com a concretização de soluções de projeto pela definição de um contexto e participação do arquiteto.

O *corpus* da GF<sub>A</sub> dos edifícios sagrados de planta retangular circunscreve-se aos momentos descritivos deste tipo de edifícios. Portanto, corresponde a uma definição generativa de uma parte da linguagem parcial. Similarmente, a GF dos edifícios sagrados de planta retangular corresponde a uma definição computacional generativa de uma parte da linguagem albertiana.

Globalmente, o processo de inferência da GF<sub>A</sub> diferencia-se da generalidade das gramáticas analíticas de referência por desenvolver uma estrutura computacional analítica para um *corpus* não edificado de natureza generativa que descreve uma parte de uma linguagem parcial.

Importa referir que a metodologia de inferência da GF<sub>A</sub> contribuiu para que se sistematizasse o conhecimento edificatório descrito no *De re aedificatoria*. Apesar da natureza algorítmica das descrições textuais do tratado facilitarem a tarefa de tradução do tratado em regras generativas, o desenvolvimento de esquemas paramétricos e a especificação de parâmetros e condições que definem as suas relações espaciais, revelaram-se essenciais para a compreensão do sistemas de composição, morfológicos e proporcionais em que os edifícios sagrados são descritos. Com efeito, a execução desta tarefa sugere que a inferência de regras de uma linguagem de projeto existente é um instrumento adequado para analisar a origem da morfologia e proporções que a caracterizam.

A inferência das regras de formas da  $GF_A$  e a sua implementação num modelo computacional paramétrico provaram ser ferramentas eficazes para a definição de modelos computacionais generativos de soluções de projeto dentro da mesma linguagem. Os dois modelos convergem no conhecimento edificatório que implementam e no universo de soluções similares que geram. Porém, divergem nos paradigmas computacionais que implementam: o primeiro recorre a um processo de derivação passo a passo (sistema de produção) que reforça a percepção visual de transformações formais da solução de projeto, enquanto, o segundo automatiza o processo de geração de soluções, privilegiando a sua variação pelo controlo dos seus parâmetros.

**4. A linguagem edificada de Alberti e o *De re aedificatoria*:  
*corpus* edificado, avaliação e transformação gramatical**



## 4.1. Introdução

O presente capítulo tem como objetivo avaliar a capacidade da  $GF_A$  gerar soluções de projetos edificados por Alberti e verificando o grau de explicitação que estes projetos têm no *corpus* da  $GF_A$ , isto é, nas descrições do *De re aedificatoria* relativas aos edifícios sagrados de planta retangular. Um segundo propósito do capítulo é demonstrar que através da transformação da  $GF_A$  numa  $GF$  subsequente, que considera a obra edificada de Alberti, auxilia-se à compreensão da hipotética evolução, ou concatenação, da linguagem albertiana inferida da teoria e prática de projeto. A concretização destes objetivos desenvolve-se em três subcapítulos:

(1) O primeiro é introdutório a um *corpus* de obras construídas de Alberti selecionadas para a avaliação analítica e transformação da  $GF_A$ . Nesse âmbito faz-se uma breve síntese historiográfica do Templo Malatestiano de Rimini e das igrejas de San Sebastiano e Sant'Andrea de Mântua, focando-se na tentativa de clarificação da responsabilidade de Alberti e do seu pensamento edificatório no contexto das obras.

A escassa documentação dos projetos de Alberti, relativamente a estes edifícios<sup>163</sup>, e o palimpsesto de intervenções que sofreram, torna complexa a leitura de princípios edificatórios albertianos a partir da sua obra construída. A este propósito, investigações de autores como Wittkower (1962), Johnson (1975), Borsi (1986), Tavernor (1985; 1998), Morolli & Guzzon (1994), Rykwert e Engel (1994), Tavares (2004) e Grassi (2015) foram essenciais à realização desta tarefa.

(2) Como exposto no capítulo anterior, de modo a responder à questão — A  $GF_A$  tem a capacidade de gerar projetos de Alberti edificados? — realiza-se uma avaliação analítica inversa da  $GF_A$  que toma como referência obras específicas do universo construído albertiano, enumeradas na tarefa prévia. Esta avaliação é composta por dois modelos de avaliação complementares.

O primeiro testa a possibilidade de derivação de soluções de projeto pela aplicação das regras de forma da  $GF_A$  segundo as características morfológicas e proporcionais das obras construídas de Alberti, isto é, por análise inversa. Este processo dá-se pelo levantamento inicial dessas características, seguido da sua aplicação, ou as mais afins, na derivação de soluções.

O segundo modelo avalia o grau de correlação entre as proporções e números descritos no *De re aedificatoria* implementados na  $GF_A$  e, os números e proporções presentes na amostra de obras edificadas de Alberti consideradas para a avaliação. Esta avaliação faz-se pelo recurso a um modelo para cálculo estatístico designado de Modelo de Regressão Linear Simples (MRLS).

(3) Finalmente, propõe-se a transformação da gramática dos edifícios sagrados inferida do *De re aedificatoria*, numa segunda gramática de forma ( $GF_{AE}$ ), pela adição e mudança/adaptação de regras de forma conforme conhecimento edificatório inferido da análise de obra edificada de Alberti. Esta transformação é operada para os edifícios selecionados: Templo Malatestiano, Igreja de São Sebastião e Sant'Andrea, seguindo a ordem cronológica da sua construção. A validade desta tarefa

---

<sup>163</sup> Conhece-se um pequeno esquiço de uma voluta desenhado numa carta a Matteo de' Pasti, de Novembro de 1454, a propósito da obra da fachada do Templo Malatestiano. E ainda a planta de um edifício de banhos que não terá sido construído, a este propósito ver o artigo *A Drawing by LB Alberti* de Howard Burns (1979).

centra-se na presunção de que auxiliará à compreensão da possível evolução da linguagem de projeto albertiana.

A avaliação e transformação gramatical propostas neste capítulo circunscrevem-se às relações morfológicas e proporções essenciais à derivação de plantas de edifícios sagrados de planta retangular. A investigação inerente a esta dissertação estende-se para além da planta destes edifícios, conforme se pode constatar nas análises expostas no Anexo V e, no corpo de textos presentes na publicação *Alberti Digital: Tradition and innovation*<sup>164</sup> (Figueira & Moniz, 2014), apresentados por ocasião do seminário *Digital Alberti: Tradition and innovation in the architectural theory and practice* (Coimbra, 17 de Abril de 2013). Porém, para bem da síntese<sup>165</sup> da dissertação, as relações espaciais que vão para lá de questões planimétricas foram excluídas deste capítulo e do que o sucede. Neste sentido a análise, avaliação e transformação gramatical propostas nestes capítulos retratam uma linguagem parcial da GF<sub>A</sub>.

---

<sup>164</sup> Figueira, J., & Moniz, G. C. (2014). *Joelho #05 - Digital Alberti Tradition and innovation*. Coimbra: Departamento de Arquitectura Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

<sup>165</sup> A consideração parâmetros relativos à altimetria dos templos, bem como aos pórticos e sistema de colunas, exponência a complexidade das operações e análises necessárias à avaliação e transformação da GF<sub>A</sub>. Por outro lado, é pertinente o estudo de relações espaciais estabelecidas na morfologia das plantas, nomeadamente, da evolução que a tipologia de igrejas compostas por nave única, capela-mor e por mais do que um par de capelas laterais dado o influxo que se verifica desta tipologia no contexto Português, nomeadamente através da empresa Jesuíta (a este propósito ver subcapítulo 5.2.1.).

## 4.2. Da obra edificada de Alberti, um *corpus* complementar da gramática albertiana

O presente subcapítulo apresenta as obras de Alberti selecionadas para teste da capacidade analítica da GF<sub>A</sub> e a sua subsequente transformação numa gramática de forma que considera a teoria e obra edificada de Alberti. Uma vez que a GF<sub>A</sub> circunscreve-se à geração de edifícios sagrados de planta retangular a escolha das obras de Alberti recaiu sobre edifícios que tenham essas características, designadamente o Templo Malatestiano, a igreja de San Sebastiano e a igreja de Sant'Andrea.

Casualmente, as obras florentinas não se incluem no conjunto de obras analisadas. Destas, as relativas a edifícios Sagrados, como a capela *Rucellai* e o *Tempietto del Santo Sepolcro*, ambas em San Pancrazio, e a fachada de Santa Maria Novella, não se adequam ao teste por tratarem-se de intervenções parciais, que não determinam a composição formal dos edifícios. Por outro lado, a capela da SS. *Annunziata* trata-se de um projeto que não corresponde à tipologia em estudo.

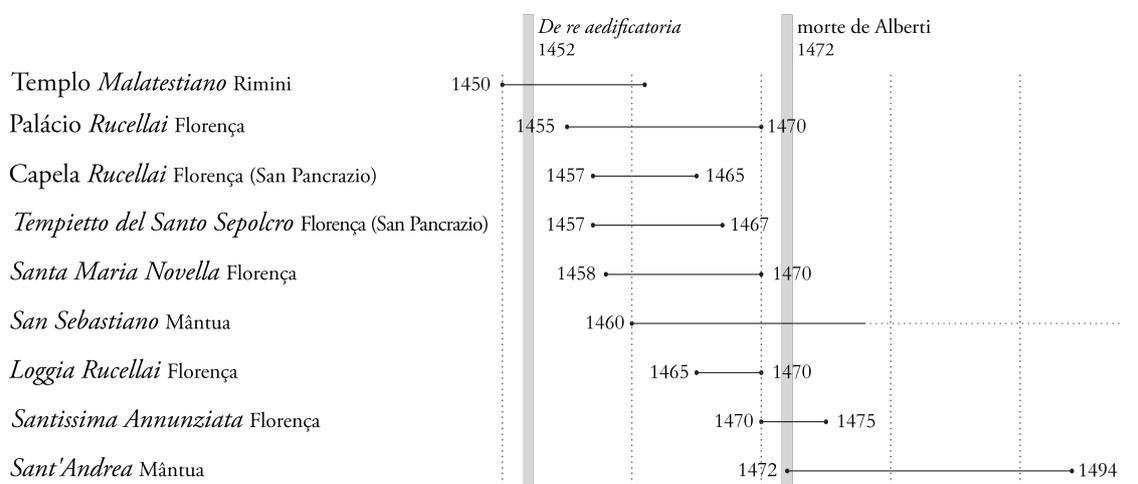


Figura 85. Cronologia das principais obras construídas de Alberti<sup>168</sup>.

No Livro X, Alberti retrata a necessidade de um controlo rigoroso da obra e do projeto, de modo a precaver erros. Alberti assume o papel de arquiteto responsável pela *delineamenta* dos projeto assegurando a comunicação com arquitetos responsáveis pela gestão de obra. A confiança de Alberti em Matteo de'Pasti (1412-1468) para acompanhamento do T. Malatestiano ou em Luca Fancelli (1430-1493) para as obras de Mântua era crucial no processo edificatório albertiano. Em paralelo, os registos que estes arquitetos fizeram dessas obras e a correspondência trocada com Alberti são hoje documentos essenciais à compreensão destas obras.

Finalmente, é conveniente deixar uma nota relativa à importância do trabalho desenvolvido pelo *Alberti Group* (1988-1994)<sup>169</sup>, financiado pela empresa *Olivetti SpA* e coordenado por Robert Tavernor com o apoio do historiador Joseph Rykwert. A este grupo de investigação deve-se o

<sup>168</sup> A esta lista poderia juntar-se a capela de San Martino Gangalandi, Lastra de Signa (ca. 1432).

<sup>169</sup> Em 1998 é publicada uma tradução para inglês do *De re aedificatoria* por Joseph Rykwert, Robert Tavernor e Neil Leach.

levantamento rigoroso dos edifícios de Alberti e uma revisão da origem dessas obras (Tavernor R. W., 1998, p. XI). Inicialmente constituído por estudantes da Universidade de Bath e posteriormente da Universidade de Edimburgo, a investigação do *Alberti Group* é precedida pela tese de doutoramento de Tavernor (*Concinnitas in the Architectural Theory and Practice of Leon Battista Alberti*, 1985), sintetizada na exposição *Leon Battista Alberti (Palazzo Te, Mântua, 1994)* e “encerrada” com a publicação de *On Alberti and the Art of Building* (Tavernor R. W., 1998).

#### 4.2.1. Templo Malatestiano

No século XV a igreja de San Francesco, localizada em Rimini, de fundação gótica (século XIII), adota a denominação de Templo Malatestiano na sequência de duas intervenções que visam a sua transformação no mausoléu da família e corte do seu patrono Sigismondo Malatesta (1417-1468), um *condottieri* humanista, pertencente à nobreza de Rimini.

A primeira intervenção (1447-1449), da responsabilidade de Matteo d’ Pasti (1420-1468) e Agostino de Duccio (1414-1481), envolve a reparação e remodelação da estrutura original. E a segunda (1450 ca.)<sup>170</sup>, relativa ao projeto de Alberti, corresponde à construção de um envelope “contemporâneo” sobre o volume da igreja preexistente, sendo uma obra que fica ao encargo dos mesmos homens que foram responsáveis pela primeira intervenção (Wittkower, 1971, p. 37; Tavernor R. W., 1998, p. 52). A obra do T. Malatestiano nunca foi concluída, inclusive houve a extensão da estrutura original de San Francesco do século XVIII. Durante a II Guerra Mundial ficou parcialmente destruída devido a bombardeamentos, tendo sido maioritariamente reconstruída logo após o término da guerra (Sebregondi, 2008).

No século XV, tal como hoje, Rimini (uma cidade de fundação Romana) é marcada pela presença e preservação de um conjunto de vestígios arquitetónicos da Antiguidade Clássica. Destacam-se o anfiteatro, a ponte sobre o rio Tibério e sobretudo o monumental Arco de Augusto, situado junto da muralha da cidade.

A proposta de Alberti para o T. Malatestiano corresponde ao primeiro momento em que recorre ao léxico formal herdado da Antiguidade Clássica enquanto instrumento de adaptação do seu projeto ao contexto específico da obra. Se a este facto, acrescentar-se a circunstância da obra não ter sido concluída, apresentando um carácter de ruína, resulta num edifício aparentemente Antigo.

A abordagem de Alberti à igreja de San Francesco é inaugural no sentido em que propõe a criação de uma *vestimenta* Clássica ao edifício gótico, colocando em evidência a convivência de dois tempos num corpo. Em certa medida, Alberti subverte a leitura contemporânea do passado, se a participação dos vestígios da Antiguidade Clássica na Roma do século XV tenderiam a perder-se, com esta intervenção parece demonstrar os benefícios do diálogo e convivência entre um passado (mesmo que próximo) e o presente.

Este processo é coerente com princípios plasmados no *De re aedificatoria*. Em conformidade com o exposto em 3.2.2. *O pensamento De re aedificatoria: lógica da teoria e da prática*, na intervenção de Alberti no T. Malatestiano identifica-se: (1) a aplicação do *axioma*

---

<sup>170</sup> Permanece a dúvida se a obra se inicia em 1450 ou 1453 (Tavernor R. W., 1998, p. 59).

*edificio-corpo* pela relação que estabelece entre o corpo e a sua ossatura, relativo ao edifício preexistente, e o revestimento, relativo aos elementos que adiciona; (2) a operatividade do *princípio da frugalidade*, pelo aproveitamento e otimização conceptual e material do edifício preexistente; (3) a ampliação do *princípio dialógico* para a possibilidade de convivência e diálogo de duas linguagens arquitetónicas, mesmo que em tensão e ocasionando numa leitura “estética” mais complexa, onde as relações hierárquias são assimétricas <sup>171</sup>.

Formalmente, a proposta de Alberti consiste na adição de elementos à estrutura existente: um plinto que sobreleva o perímetro construído; um pórtico na frontaria, cujo delineamento segue a composição dos arcos de triunfo; a construção de um pórtico em arcada ao longo do paramento exterior das fachadas laterais que mostram a fachada e janelas da parede pré-existente; e uma capela *rotonda*, que não chegou a ser construída e que, tal como o projeto de Alberti para a capela da basílica de *Santissima Annunziata*, implantar-se-ia na posição correspondente à capela-mor. Cabem alguns comentários relativos à origem e disposição destes elementos.

Com efeito, a frontaria do T. Malatestiano constitui uma citação ao Arco de Augusto de Rimini (Figura 87) e simultaneamente, uma adaptação de características presentes em arcos de triunfo Romanos, como o arco de Constantino e o Arco de Tito.

O arco de Rimini é constituído por um pórtico de duas colunas onde existe um única passagem. O pórtico do T. Malatestiano adota a proporção das suas colunas e composição global, porém, triplica-as, alongando a sua proporção quadrada<sup>172</sup>, nomeadamente, pelo aumento da altura da pedra imposta do arco e do centro do arco, conforme prescrição do tratado<sup>173</sup>.

O Arco de Constantino é constituído por três aberturas, no centro localiza-se uma abertura de grandes dimensões e em cada um dos intercolúnios laterais, duas aberturas menores de dimensões iguais. Este cânone é adotado por Alberti no tratado, conforme descrição relativa aos Arcos de Triunfo (VIII, 6, 12). Se a monumentalidade do pórtico da frontaria de Sant’Andrea é mais fiel a esta relação, em Rimini, o *ratio* existente entre intercolúnio central e os intercolúnios das aberturas laterais (5:4) é mais próximo, respeitando as descrições do *De re aedificatoria* relativas aos pórticos dos templos (ver 4.4.1. *Templo Malatestiano: Regras 9. Distribuição de colunas e Anexo V: Figura 19. Análise proporcional da frontaria do Templo Malatestiano*). O coligir destas proporções com um modelo de arco de triunfo tripartido (Wittkower, 1971, pp. 37, n.3), e ainda, com a necessidade da existência de apenas um acesso, resultou na existência de três arcos de abertura, em que o arco central abriga a porta de entrada no Templo, e os arcos laterais, de dimensões um pouco menores, correspondem a aberturas falsas.

---

<sup>171</sup> O T. Malatestiano não anula a presença da igreja San Francesco, contudo, desde o exterior, estabelece uma relação aparentemente dominante.

<sup>172</sup> A este propósito ver o levantamento fotogramétrico do *Olivetti/Alberti Group* (Tavernor R. W., 1998, p. 74).

<sup>173</sup> “(...) deve procurar-se que o arco não seja menor do que o semicírculo acrescido de um sétimo do raio. (...)” (I, 12, 12).

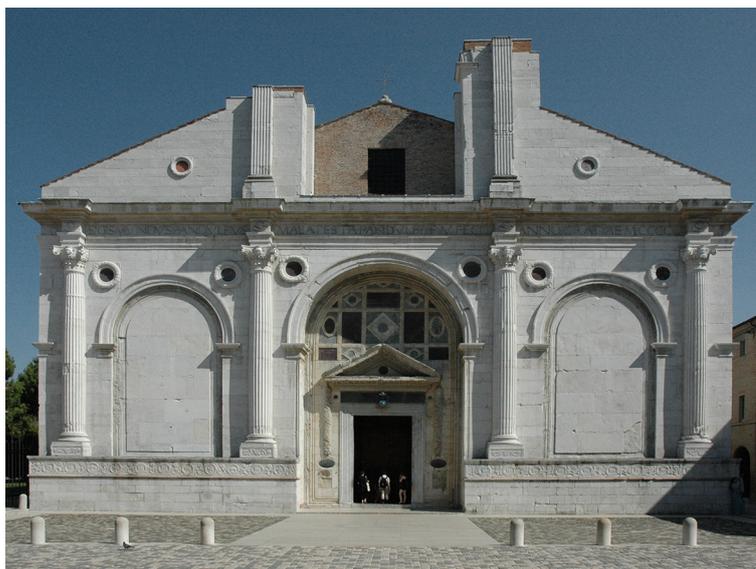


Figura 86. Rimini, Frontaria do Templo Malatestiano.

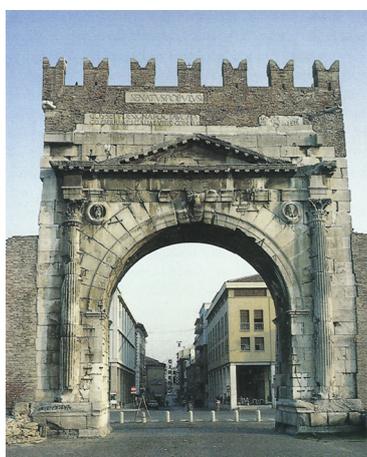


Figura 87. Rimini, Arco de Augusto, c.72 BC. Fotografia de Robert Tavernor, fonte: (Tavernor R. W., 1998, p. 52).



Figura 88. Reverso da medalha de Sigismondo Malatesta, comemorativa do Templo Malatestiano. Atribuída a Matteo de' Pasti, datada de 1450, 40mm de diâmetro. Fonte: (Borsi, 1986, p. 95).

Importa ainda referir que o pórtico da frontaria do T. Malatestiano nunca foi concluído, mas uma medalha de Matteo de' Pasti (Figura 88), comemorativa do Templo Malatestiano (1450), permitiu a reconstrução desta hipotética versão final da frontaria. O *Alberti Group* reconstituiu a frontaria do Templo segundo esta versão (ver Figura 89)<sup>174</sup>. No âmbito deste capítulo não é pertinente alongar a análise deste tema, conforme constantes das investigações de Wittkower (1971, p. 39), Borsi (1986, p. 106) e sobretudo de Tavernor (1998, pp. 59-63).

<sup>174</sup> O desenho da fachada da frontaria utilizada na análise é uma reconstituição do *Alberti Group* feita de acordo com a representação do T. Malatestiano (provavelmente de uma maquete) na medalha comemorativa, atribuída a Matteo d' Pasti, 1450.

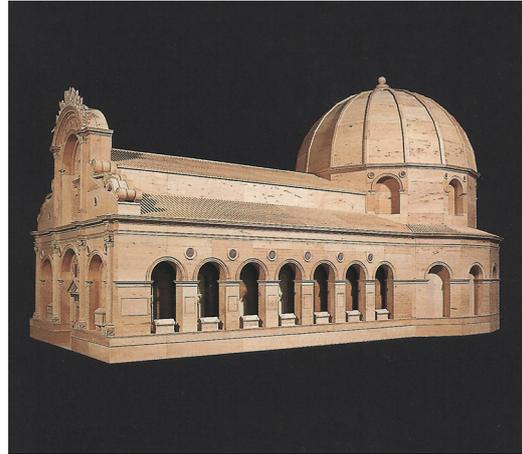
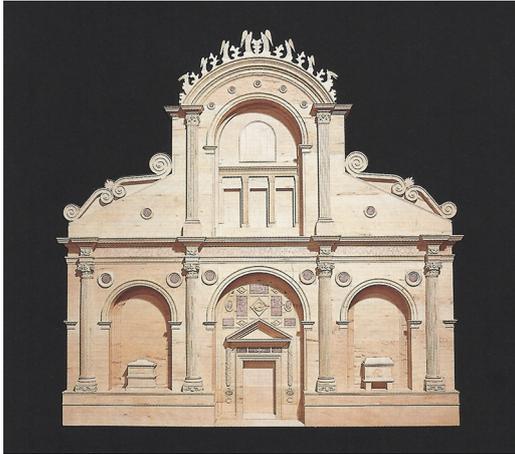


Figura 89. Maquetes de madeira representando a pretensa proposta de Alberti para o Templo Malatestiano. Maquetes construídas pelo *Alberti Group* para a exposição *Leon Battista Alberti*, Palazzo Te, Mântua, 1994.. Fotografias atribuídas a Giovetti, fonte: (Tavernor R. W., 1998, p. 61).



Figura 90. (À esquerda) Roma, Coliseu, detalhe da arcada, fonte: (Grassi, 2015, p. 35). (À direita) Rimini, T. Malatestiano, vista de pormenor da arcada da fachada lateral (Oeste).

As fachadas laterais do Templo são compostas por pórticos em arcada que envolvem o edifício preexistente. Paradoxalmente, a sua disposição e ritmo de aberturas introduzem um distanciamento do corpo de San Francesco ao exterior e, em simultâneo, por trás da espessura dessas pilastras e arcos, dão legibilidade às suas fachadas laterais e janelas em bífere apontado.

Num primeiro momento do Renascimento verifica-se a aplicação do sistema de arco e coluna no desenho de *lógias*, são exemplos a arcada do pátio do *Ospedale degli Innocenti* (1419) de Filippo Brunelleschi (1377-1446), ou mesmo, a *llogia* da *Santissima Annunziata* (1445 c.) de Michelozzo di Bartolomeo (1396-1431) ambas em Florença<sup>175</sup>. Se a *llogia* Rucellai lembra estas obras, mesmo que contra os princípios descritos no *De re aedificatoria* — “sistema de colunas com arcadas devem usar-se colunas quadrangulares” (IV, 15, 1) —, em Rimini, aparentemente, Alberti recorre mais uma vez ao léxico que a Roma Antiga lhe disponibiliza — as arcadas do Coliseu (70-82 d.C.) (Wittkower, 1971, p. 39) —. Observe-se a Figura 90, é difícil negar a apropriação de Alberti dada proximidade e a capacidade de sugestão que as aberturas das arcadas do Coliseu têm sobre as aberturas das arcadas do T. Malatestiano.

<sup>175</sup> As datas foram verificadas em: (Pevsner, Fleming, & Honour, 1980, pp. 105, 431).

Descortinar a solução que Alberti haveria preconizado para o topo Este do T. Malatestiano não é uma tarefa fácil, nem um tema consensual entre os historiadores. De entre as hipóteses levantadas, a que considera válida a representação da medalha de Matteo de' Pasti, parece ser a mais verosímil<sup>176</sup>. Ainda que a compreensão da proposta de Alberti seja limitada, percebe-se a existência de uma cúpula nervurada colocada sobre um tambor de largura igual, ou um pouco superior à largura da frontaria. A este argumento associa-se o registo escrito de Alberti em carta enviada a Pasti<sup>177</sup>, onde diz preferir as cúpulas de edifícios termas e do Panteão - semiesféricas, a uma cúpula com dois diâmetros de altura, conforme sugestão de Antonio Manetti. Esta alusão recorda o projeto de Alberti para a capela da basílica de *Santissima Annunziata*. Por este motivo, na nossa análise considera-se a implantação da planta desta capela no topo do T. Malatestiano (Figura 91), correspondente à adaptação de planta apresentadas por Tavernor (1998, p. 56 e 72).

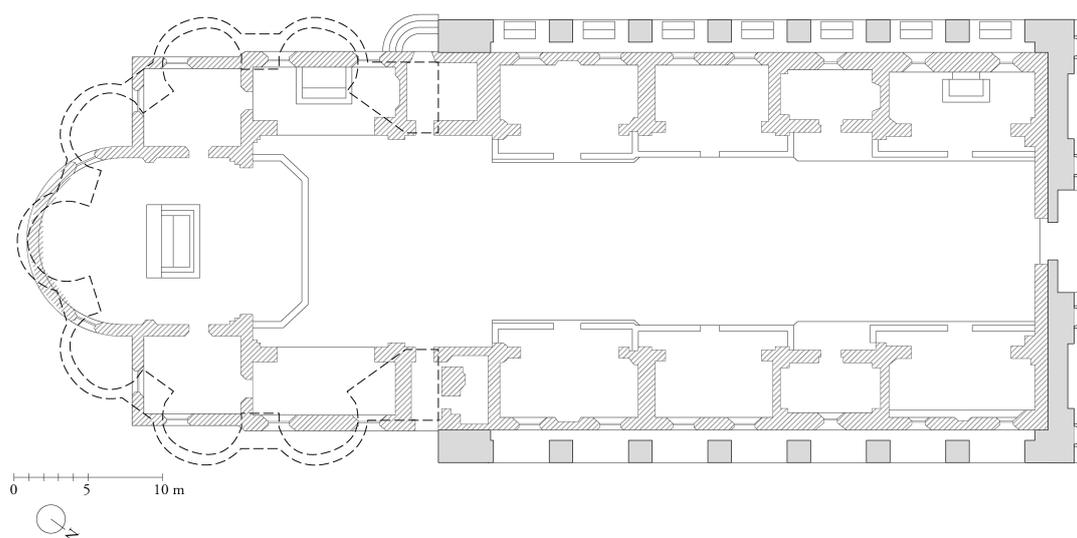


Figura 91. Planta do T. Malatestiano sobrepondo a intervenção atribuída a Alberti (paredes a sombreado), ao traçado gótico existente, igreja de San Francesco (século XIII) e extensão da cabeceira realizada depois do século XVIII (paredes com trama) e, projeção da hipotética implantação da capela-mor da *Santissima Annunziata* (Florença) na cabeceira do templo (linhas a tracejado). Fonte do desenho base: (Tavernor R. , 1998, p. 56 e 72).

#### 4.2.2. Igreja de *San Sebastiano*

Ao contrário das outras duas obras de Alberti retratadas neste capítulo, San Sebastiano localiza-se fora do limite da cidade, junto da entrada Sul da cidade de Mântua (porta Pusterla), beneficiando de um contexto livre de condicionalismos de edifícios vizinhos (como sucede em Sant'Andrea). Esta localização terá sido definida por Ludovico Gonzaga (1412-1478), Marquês de Mântua, e patrono das obras mantuanas de Alberti.

<sup>176</sup> A este propósito ver os argumentos apresentados por Tavernor (1998, pp. 68-69).

<sup>177</sup> Alberti residia em Roma durante o período de construção do T. Malatestiano. O modo de comunicação com Matteo de' Pasti era por correspondência. Hoje, uma carta de Alberti a Pasti, datada de 18 de Novembro de 1454, constitui o registo importante de preocupações e planos de Alberti para a obra de Rimini. Tavernor publica a tradução desta carta para inglês em (1998, pp. 59-61).

A bem da síntese desta introdução a San Sebastiano, faz-se uma breve descrição das suas fases tomando como referência uma sinopse de Tavernor (1998, p. 140)<sup>178</sup>. Segundo este historiador, o arranque da obra foi célere, o charco onde se iria erguer a igreja foi drenado em quatro dias, em Março de 1460, as fundações já estariam escavadas e, em 1462, as paredes já estariam levantadas até à altura das abóbadas de berço das capelas.

Em Julho de 1463, Alberti terá introduzido alterações ao projeto, resultantes da construção de uma cripta que teria o objetivo de elevar o pavimento da igreja para minimizar danos causados por cheias que em períodos de chuvas. Esta retificação terá obrigado ao reposicionamento das portas e dos nichos. Porém, se as dimensões do desenho Labacco estão corretas, não houve lugar a correções ao nível da altura das paredes, situação que desvirtua as intenções originais de Alberti para as proporções da cela e capelas.

O telhado da cela e respetiva abóbada de ogiva, atípica ao léxico albertiano, terão sido executados após 1488, bem como, as escadas laterais de acesso ao piso superior e o compartimento que se situa sobre o vestíbulo do pórtico.

Gravuras de Seroux (1823-29) de San Sebastiano<sup>179</sup> mostram a abertura de uma janela serliana no pano de parede das capelas sobre os nichos. No restauro da década de 1920 seriam substituídas por janelas circulares. Este facto sugere que os responsáveis pelo restauro tentassem reproduzir os óculos das capelas laterais de Sant'Andrea, que provavelmente pensariam ser da autoria de Alberti.



Figura 92. (À esquerda) Mântua, fotografia da frontaria de San Sebastiano na década de 1920 antes das obras de restauro, fonte: (Borsi, 1986, p. 149). (À direita) Mântua, fotografia da frontaria de San Sebastiano na situação atual.

<sup>178</sup> Tal como havia comentado na sua tese antes de iniciar a sua síntese, Tavernor (1985, p.121) refere: “The building history of San Sebastiano is so complex and full of uncertainties that I offer the following summary of the main events as I perceive them.”. Esta afirmação confirma existirem outras visões relativa aos progressos da obra de San Sebastiano.

<sup>179</sup> J.B.L.G. Seroux d'Agincourt, *Histoire de l'art par les monuments depuis sa decadence au IVe siècle jusqu'à son renouvellement 'au XVIe* . 8 vols., Paris, 1823-1829. Vol. 1, pp. 88-89.



A composição de San Sebastiano no desenho de Labacco caracteriza-se pela planta em forma de cruz Grega. Ao espaço central quadrado, estão anexas quatro capelas, uma de cada lado, menos profundas do que a sua largura. A capela-mor e as capelas laterais têm ainda uma pequena abside, ou melhor, um nicho, semicircular. O esquiço da vista lateral deixa perceber as capelas cobertas por uma abóbada de berço, tal como construídas. É possível perceber o posicionamento de dois frontões colocados no paramento das fachadas das capelas, um ao nível do telhado<sup>180</sup> e um ao nível do fecho do arco da abertura do nicho, os quais aparentemente não terão sido executados. O esquiço revela ainda que Alberti planearia a construção de uma cúpula e zimbório sobre o espaço central, uma solução próxima da existente na sacristia da basílica de San Lorenzo (1421-28) de Filippo Brunelleschi (1377-1446).

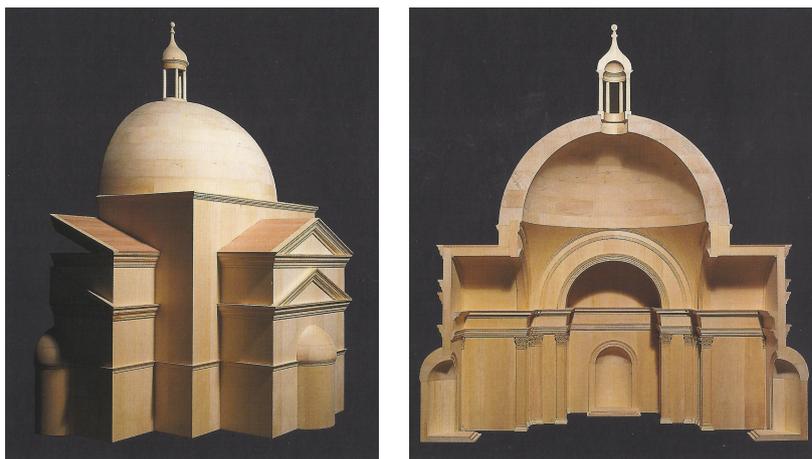


Figura 94. Maquetes de madeira representando a pretensa proposta de Alberti para o Templo Malatestiano. Maquetes construídas pelo *Alberti Group* para a exposição *Leon Battista Alberti*, Palazzo Te, Mântua, 1994.. Fotografias atribuídas a Giovetti, fonte: (Tavernor R. W., 1998, p. 129).

Em suma, os desenhos de Labacco constituem a fonte mais fidedigna das ideias originais de Alberti. A composição interna e proporções similares da igreja é o elemento mais próximo desses desenhos, fazendo acreditar que essa composição corresponde, efetivamente, às prescrições de Alberti.

Como aspetos visivelmente menos correspondentes e que se devem colocar nessa perspetiva estão: a largura do pórtico, que Labacco parece alinhar pela largura do corpo da igreja, portanto, mais largo do que o pórtico edificado, que é mais estreito do que o volume central; a planta de Labacco não introduz variações na espessura das paredes do corpo da igreja, em contradição com a maior espessura (o dobro) que os cantos das paredes do volume quadrangular central têm relativamente às paredes das capelas, não obstante a cúpula nunca ter sido construída; as aberturas adicionais das fachadas, e pórtico; *loggia* lateral e escadarias laterais, as escadas que hoje existem de acesso direto ao pórtico terão sido acrescentadas nos trabalhos da década de 1920; e as duas antecâmaras situadas entre o vestíbulo/pórtico e as paredes limite da cela.

<sup>180</sup> Composição similar à ilustrada por Cesare Pedemonte no desenho da fachada Este de Sant'Andrea, ver Figura 104.

### *Origens de San Sebastiano*

Domingos Tavares (2004, pp. 115-123), na análise do influxo que a composição espacial de San Sebastiano terá recebido de outros cânones arquitetônicos, faz referência à capela *Pazzi* (c. 1442) de Brunelleschi, Florença, marcada pela hábil adaptação da planta retangular a um espaço central quadrado através da introdução de abóbadas de berço nos braços das extremidades laterais da capela. Esta centralidade acentua-se pela introdução de uma cúpula que assenta sobre pendentes, para se adaptar ao volume quadrado do espaço central, uma solução que Brunelleschi havia ensaiado na sacristia de San Lorenzo, também em Florença, as quais, poderiam ser referente para o interior da cúpula protagonizada no esquiço de Labacco.

Tavares (2004, p. 119) argumenta a possibilidade da planta em cruz Grega de San Sebastiano revisitar “épocas tão distintas como as clássicas romanas, bizantinas ou de reencontro com as lógicas imperiais captáveis nos exemplos da época carolíngia, podem explicar o interesse por este tipo de fórmulas quadradas ou em cruz, circulares ou octogonais com ábsides (...) contida na medida do cubo. Mas é provavelmente no tardo-romano, onde predomina a atração pela modelação da espacialidade encerrada (...) em termas primeiro e mausoléus depois, que encontramos a intensificação do uso das absides semicirculares encimadas por cúpulas.”

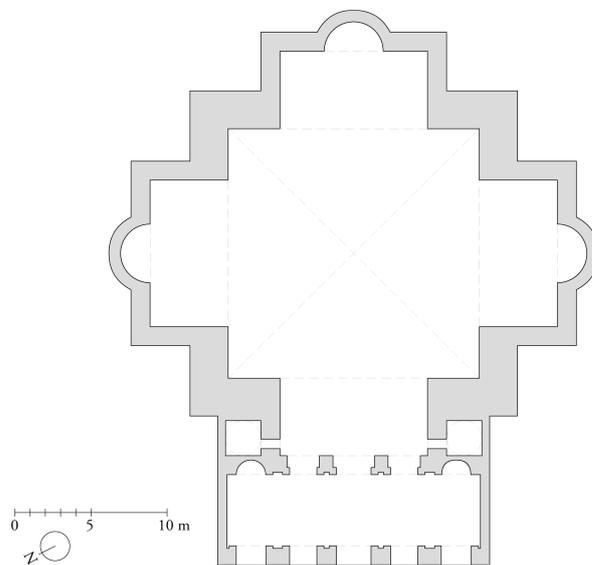


Figura 95. Planta de San Sebastiano., fonte: do desenho base (Tavernor R. , 1998, p. 137).

O elemento mais característico do pórtico de San Sebastiano é o entablamento interrompido ligado por um arco siríaco, ou arco serliano. Tavernor (1998, p. 140) advoga que esta configuração terá sido executada após 1488, sendo controverso ao afirmar que a interrupção central do entablamento decorre da abertura de uma janela que ilumina o compartimento que se encontra sobre o vestíbulo de entrada. E que esta interrupção terá originado a colagem de pilastras de ambos os lados da porta central como “visual support” do entablamento e das extremidades da fachada. Pelo que subentende-se que seria uma opção estranha à vontade de Alberti.

Por oposição, Wittkower (1971, p. 53) alude à possibilidade de filiação do pórtico de San Sebastiano ao pórtico da capela *Pazzi*, ou ainda, no contexto de modelos Clássicos, a um falso pórtico encrustado na fachada lateral do Arco de Orange (século I), ou ainda, mais remoto, ao tetrápilo (II a.C.) de Afrodísias situado numa antiga cidade grega com o mesmo nome, na região da antiga Caria, hoje Sudoeste da Turquia (Castex, 1994). De facto, ambos apresentam um entablamento interrompido ao centro, ligando-se superiormente por um arco de meia volta. Se o protótipo de Brunelleschi é composto por seis colunas, três em cada uma das duas partes em que se divide o entablamento (tal como ilustra Wittkower ,1971, p.52, fig.7), no Arco de Orange estão representadas apenas quatro colunas.

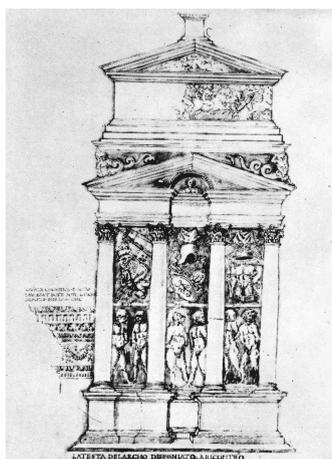


Figura 96. Vista lateral do Arco de Orange, Giuliano da Sangallo, fonte: (Borsi, 1986, p. 148)

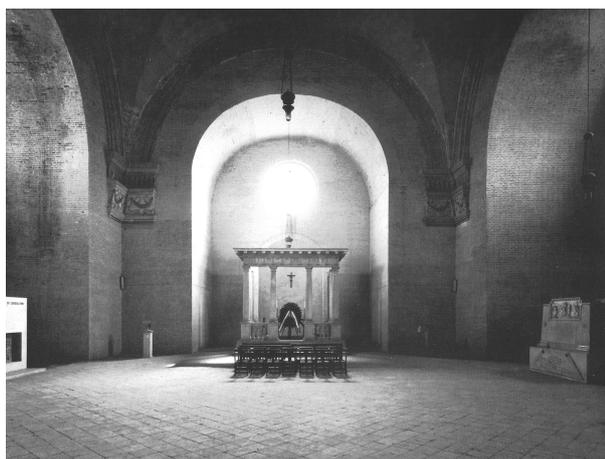


Figura 97, Mântua, fotografia do interior de San Sebastiano, fonte: (Borsi, 1986, p. 160)

Com efeito, a impossibilidade de validação destes argumentos não permite refutar os fundamentos de Tavernor. Porém, o argumento de Wittkower parece ser consistente, alinhando-se na narrativa exposta por Tavares (2004, pp. 115-123) quando caracteriza a visão edificatória de Alberti em San Sebastiano (e extensível ao T. Malatestiano e Sant'Andrea) através de um processo de observação e apropriação de modelos que lhe eram próximos (Brunelleschi) ou de períodos mais distantes, da Antiguidade Clássica, do Bizantino ou Medieval.

#### 4.2.3. Igreja de *Sant'Andrea*

A igreja de Sant'Andrea é o último projeto de Alberti, a sua construção iniciou-se em 1472, o ano da sua morte. Paradoxalmente, é considerado o seu projeto mais significativo e completo, cuja configuração espacial influenciou significativamente a arquitetura da Renascença.

A configuração espacial em cruz latina que Sant'Andrea apresenta não será da responsabilidade de Alberti. Em Novembro de 1470, numa carta e desenho enviados a Ludovico Gonzaga, Alberti critica o modelo de Antonio Manetti para a nova Sant'Andrea, propondo uma

solução conhecida entre os antigos como templo Etrusco<sup>181</sup>. Sobre este desenho, do qual não existe vestígio, pensa-se que poderia conter um esquema do templo Etrusco, Alberti refere que “Este será mais capaz, mais eterno, mais digno, mais feliz. Custará muito menos. Se vos agradar darei modo de realizá-lo em proporção”<sup>182</sup>.

A popularidade de Sant’Andrea deve-se ao facto de guardar um frasco de sangue de cristo. A exposição desta relíquia atraía muitos fieis, pelo que Gonzaga acharia conveniente a substituição da abadia Beneditina existente por uma igreja capaz de albergar multidões dignamente e, simultaneamente, consolidar a sua importância em Mântua. Manetti terá efetuado uma primeira proposta representativa da tradição de Brunelleschi, especula-se que seria similar a San Lorenzo (Florença) onde trabalhou. Esta proposta terá sido recusada pelo abade beneditino responsável pela abadia uma vez que implicava a demolição do edifício existente.

Em 1472, dois anos após a morte do abade responsável pela abadia Beneditina, o papa Sisto IV decreta a sua extinção e a criação de uma igreja colegial, que seria dirigida pelo Cardeal Francesco Gonzaga, filho de Ludovico Gonzaga (Borsi, 1986, p. 165).

Diversos autores, o primeiro dos quais foi Krautheimer (1971), assinalam que a descrição do templo Etrusco do *De re aedificatoria* (Livro VII) é mais devedora da Basílica romana de Maxêncio do que da descrição vitruviana do templo Etrusco e que a composição espacial do corpo principal de Sant’Andrea, isto é, a nave e capelas laterais, situadas entre o pórtico e a nave transversa, detêm características espaciais da basílica e das descrições do Livro VII. Estes factos suportam a teoria comumente aceite de que Alberti não teria previsto a construção do transepto e cabeceira de Sant’Andrea<sup>183</sup>.

Supõe-se que em 1471 Alberti terá introduzido alterações ao desenho entregue a Ludovico no ano anterior. Após a morte de Alberti, em 1472, a coordenação da construção deste projeto ficaria a cargo do seu colaborador Luca Fancelli. Terá sido neste período que se define a versão da nave de Sant’Andrea, antes da ampliação, sendo composta por um volume paralelepípedo único que sustenta uma abóbada de canhão que acompanha a totalidade da nave. A abóbada é constituída por uma contínua malha de caixotões quadrados que revelam o seu próprio sistema estrutural. Ambas as paredes laterais são interrompidas pelas aberturas de três capelas intercaladas por uma ossatura de parede que cria uma alternância de espaços cheios e vazios. As extremidades das

---

<sup>181</sup> Castex (Castex, 1994, p. 50) ao caracterizar as relações de Alberti com os seus patronos e o modo como desenvolve a sua atividade de arquiteto refere que este radicaliza a posição de Arquiteto autor assumida por Brunelleschi, designadamente, ao definir todo o conteúdo técnico e conceptual do projeto antes de se iniciar a execução da obra. Alberti, inclusive relega para segundo plano o controlo da obra para se dedicar ao trabalho intelectual do arquiteto. É nesta multiplicidade de conhecimentos que se relaciona com os seus clientes, como um fornecedor de ideias, apresentando a Arquitetura como um sedutor exercício de uma superioridade intelectual, definindo uma política perante a cidade e os seus monumentos. Exemplo disso é o processo de adjudicação do projeto de Sant’Andrea, e no modo oportuno como aborda Ludovico Gonzaga, como critica a proposta de Manetti, sem a enxovalhar, mostrando-se preparado para, em simultâneo, apresentar uma proposta que advoga melhor ao nível técnico, económico e sobretudo simbólico.

<sup>182</sup> Tradução de extracto da carta de Alberti a Ludovico Gonzaga, conforme tradução de Domingos Tavares (2004, p. 131). O texto original desta carta pode ser consultado em Johnson (1975, p. 64).

<sup>183</sup> Uma carta de Ludovico Gonzaga ao seu irmão Francesco refere a necessidade do fabrico de dois milhões de tijolos para a construção da igreja (Johnson, 1975, pp. 14, 165). Tavernor contabiliza o número de tijolos necessários para a construção da igreja na versão de nave única e na versão com transepto, confirmando que para a primeira seriam necessários os dois milhões de tijolos e na segunda versão o dobro (1998, pp. 165, 201-206).

aberturas das capelas são marcadas pela adição de uma pilastra, com uma altura igual à da nave, simulando a sustentação do entablamento e constituindo o pórtico que marca o arranque da abóbada. O espaço entre as capelas laterais, a ossatura, é um espaço oco, a partir do qual, ao nível superior, se abre uma câmara para a fachada exterior, por onde se ilumina a nave através de um óculo, e ao nível inferior, existe uma pequena câmara, acessível desde a nave por uma porta, e coberta por uma cúpula, e que se ilumina a partir de um pequeno zimbório que se eleva ainda no interior da câmara.

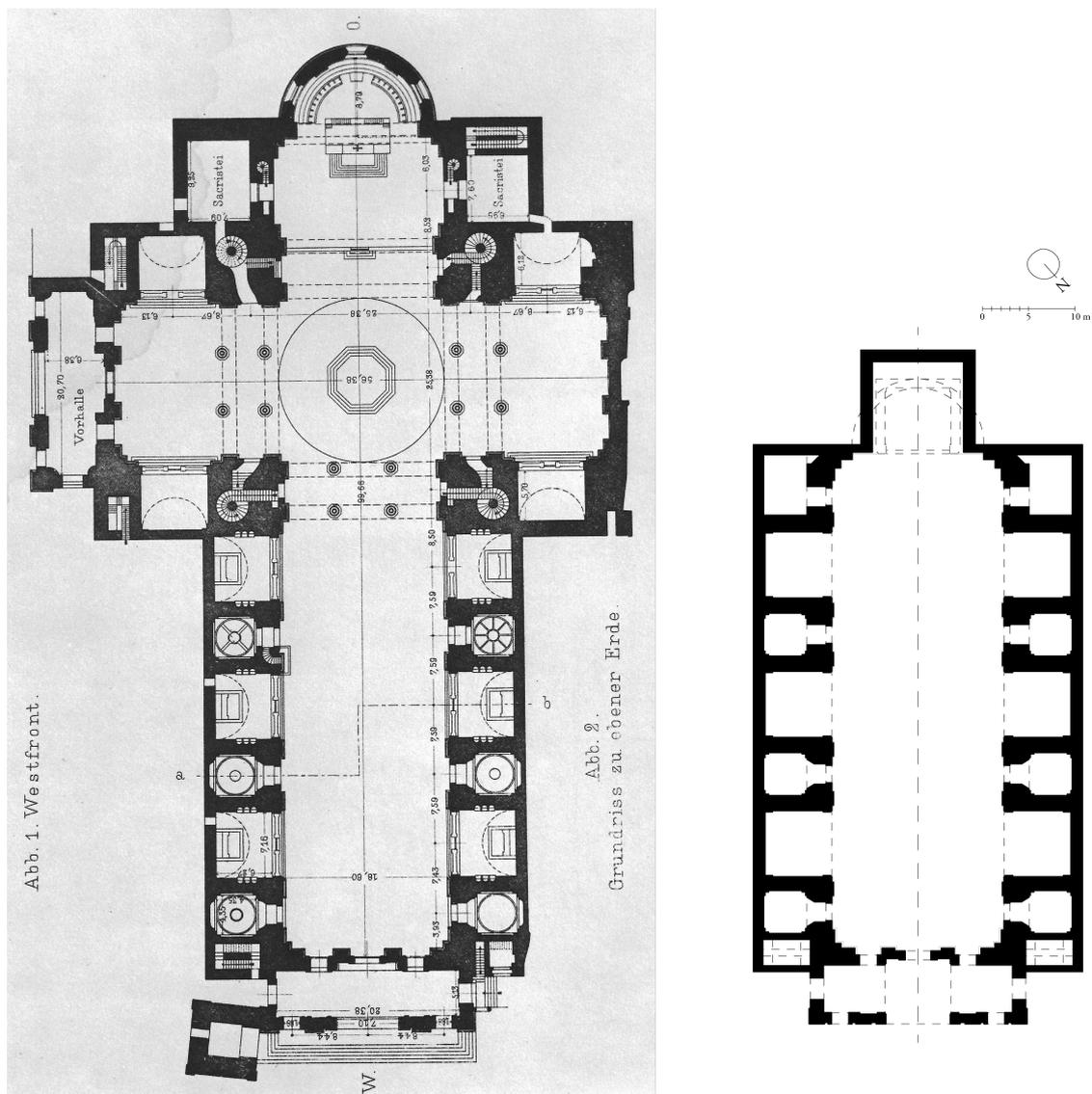


Figura 98. À esquerda, planta de Sant'Andrea, Ernst Ritscher, 1899, fonte: (Johnson, 1975, p. 132). À direita, planta de Sant'Andrea na versão sem transepto, conforme atribuída a Alberti. Fonte do desenho base: (Olivetti/Alberti Group, 1998; Tavernor R., 1998, p. 185).

A igreja de Sant'Andrea do final do Século XV, anterior à ampliação, contém uma síntese morfológica comparável à planta central que introduz no desenho de San Sebastiano<sup>184</sup>.

Presume-se que a versão de Sant'Andrea que hoje existe, corresponde a mais duas fases de extensão. A primeira (ca. 1526-1540)<sup>185</sup> dá-se com a chegada de Giulio Romano a Mântua. Segundo Tavernor (1998, pp. 167-169) Romano terá supervisionado um extenso programa de decoração das capelas tendo sido responsável pela transepto e pórtico do tardo, e ainda, pelo encerramento das janelas terminais substituindo-as por óculos (Ytterberg, 2008, p. 203; Castex, 1994, p. 58)<sup>186</sup>. A responsabilidade da segunda intervenção em Sant'Andrea é atribuída Filippo Juvarra, já no século XVIII, momento em que é construído o tambor e a cúpula central sobre o cruzeiro.

Finda esta breve introdução à origem e evolução da igreja de Sant'Andrea, interessa-nos abordar mais dois temas que retratam as opções arquitetónicas de Alberti para este edifício, pertinentes no contexto desta investigação, e que hoje, não são facilmente descortinaíveis.

#### *Uma interpretação contemporânea do “Etruscum Sacrum” a partir da basílica de Maxêncio*

De acordo com as descrições do *De re aedificatoria* (VII, 4, 8) a interpretação de Alberti do templo Etrusco traduz-se numa composição cuja área total define-se na proporção de 5:6. Junto da frontaria, situa-se um pórtico que serve de vestíbulo de entrada e que toma até duas das seis partes do comprimento. As quatro partes remanescentes são ocupadas pela cela e capelas. A largura desta área divide-se em dez partes, sendo que quatro constituem a largura da cela e, as restantes seis, dividem-se pela profundidade das capelas laterais (3+3). Em cada uma das fachadas laterais distribuem três capelas<sup>187</sup>.

Este conjunto de proporções difere do descrito por Vitruvius no *De architectura* (III, 3, 5 e IV, 7, 1), onde a profundidade do templo Etrusco divide-se em duas partes iguais, sendo que uma é ocupada pela cela e a outra pelo pórtico, não estando previstos conjuntos de três capelas, mas apenas uma capela de cada um dos lados da cela e, com acesso pelo pórtico.

Tavernor (1998, p. 176) sugere que Alberti terá optado por desviar-se do cânone vitruviano porque não conheceria nenhum edifício correspondente a essa composição<sup>188</sup>, pelo que terá interpretado livremente a descrição de Vitruvius, levando-o a identificar as características do templo Etrusco nas ruínas da Basílica de Maxêncio, em Roma. A beneficiar este argumento acresce o facto de o autor referir que até ao início do século XIX, a identidade da Basílica de Maxêncio ser desconhecida, aliás, confundida com o Templo da Paz ou Templo Latona, que se situaria ao lado da

---

<sup>184</sup> “Todo este conjunto conforma-se segundo um sistema espacial coerente e completo, estruturado simultaneamente em termos de construção iluminação, sintaxe, pela alternância rítmica dos elementos que compõem a parede; um sistema homogéneo que se basta a si mesmo. Neste caso, Alberti abandona o tom polémico para perseguir uma síntese total” (Castex, 1994, p.58).

<sup>185</sup> Dois anos após a chegada de Giulio Romano até à morte de Frederico Gonzaga em 1546.

<sup>186</sup> Este argumento é suportado pela visível diferença de tom dos tijolos, em forma semicircular, que é possível observar nas fachadas de Sant'Andrea.

<sup>187</sup> Na descrição do templo Etrusco do *De re aedificatoria*, as dimensões da cela correspondem à proporção de 1:2, sendo que as proporções das capelas, sem qualquer paramento, a uma proporção de 8:9.

<sup>188</sup> Apenas no século XIX, com a descoberta de vestígios de arqueológicos de templos Etruscos, é que se confirma a existência de edifícios com composição correspondente à descrição de Vitruvius (Tavernor R. W., 1998, p. 176).

basílica, cujo estado de ruínas tornariam o seu vestígio pouco perceptível. No Livro I (8, 12) Alberti faz referência ao Templo Latona, descrevendo a sua localização, correspondente à Basílica de Maxêncio. Esta referência também deixa perceber que Alberti conheceria bem este edifício.

Em paralelo, as proporções da cela Sant'Andrea, correspondentes às proporções harmônicas de 2:3:6<sup>189</sup> (IX,5, 14-16), poderão seguir o conjunto de edifícios sagrados da fé cristã que tradicionalmente aplicam as proporções do interior da cela do templo de Salomão<sup>190</sup>, a qual, conforme relatos bíblicos, mediria 20x60x30 côvados (Tavernor R. W., 1998, p. 173). Uma segunda correspondência entre Sant'Andrea e o seu putativo protótipo centra-se na existência de um vestíbulo de entrada cujo volume é mais pequeno do que o volume principal do templo.

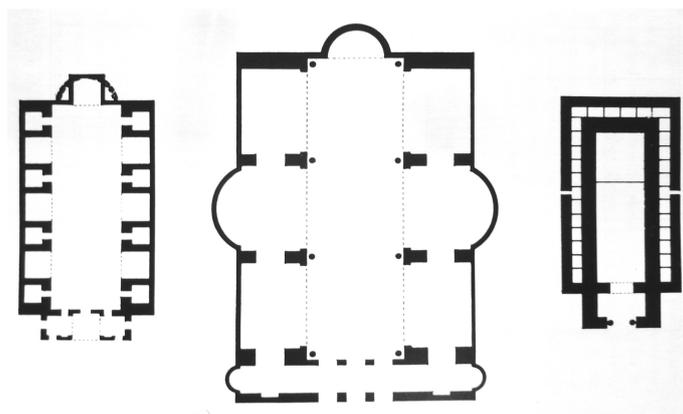


Figura 99. Plantas de Sant'Andrea, na versão sem transepto, da Basílica de Maxêncio e do Templo de Salomão, todas na mesma escala, fonte: (Tavernor R. , 1998, p. 178).

Tavernor dá algumas pistas para justificar as divergências entre a composição de Sant'Andrea e a descrição do seu templo Etrusco. A primeira, relativa ao contexto físico, argumenta que a densidade da envolvente urbana de Mântua, incluindo a preservação da torre sineira da igreja pré-existente, junto da frontaria, introduzem restrições ao dimensionamento e delineamento de Sant'Andrea. Num segundo momento, este autor verifica que a basílica de Maxêncio é um terço mais comprida e duas vezes mais larga do que Sant'Andrea, por oposição, as dimensões do templo de Salomão, se convertidas as unidades de côvados para *braccias* mantuanas, tem maior correspondência com Sant'Andrea. Ou seja, com o objetivo de albergar o maior número de fiéis possível, Alberti poderá ter adaptado o seu modelo Etrusco, reduzindo a área das capelas, e assim, aumentar a área da nave central para as dimensões e proporções do templo de Salomão. Tavernor (1998, p. 178) sugere que Alberti combina o modelo “Etrusco” (da basílica de Maxêncio) — constituído por uma nave central, rodeada por seis capelas laterais, uma capela-mor, ou abside, semicircular e um vestíbulo porticado anexo à frontaria — e o modelo salomônico — proporção da cela — para criar um novo tipo de edifício sagrado.

<sup>189</sup> A cela de Sant'Andrea mede 40x60x120 *braccias* mantuanas.

<sup>190</sup> proporções do templo de Salomão em edifícios sagrados faz parte da tradição cristã, podendo referir-se a capela sistina e a catedral de Florença () Brunelleschi.

No *De re aedificatoria*, o templo Etrusco é descrito no último parágrafo do cap.4 do Livro VII. Este parágrafo não introduz qualquer relação entre o templo Etrusco e as descrições globais para o delineamento e proporções dos edifícios sagrados e respetiva compartimentação, elaborados nos parágrafos anteriores. O templo Etrusco parece traduzir-se num cânone edificado autónomo<sup>191</sup>. Conforme exposto no próximo subcapítulo, as descrições relativas aos edifícios sagrados de planta retangular, permitiram a inferência de uma gramática de forma capaz de gerar uma solução de projeto próxima da planta de Sant'Andrea (na sua configuração até ao arranque do transepto).

Este facto dá lugar a novas questões: Quando Alberti escreve o tratado, a uma distância de aproximadamente 20 anos do momento em que apresenta a sua proposta para Sant'Andrea a Ludovico Gonzaga e de ter executado o projeto, já teria especulado sobre esta síntese, mesmo sem as restrições específicas do contexto? Se as descrições gerais dos edifícios sagrados de planta retangular já detêm capacidade explicativa de Sant'Andrea, o seu conhecimento edificatório é devedor do influxo da Basílica de Maxêncio e do templo de Salomão, acrescido de especificações (relações paramétricas) ao nível morfológico e proporcional que permitem a sua adequação a situações diversificadas?

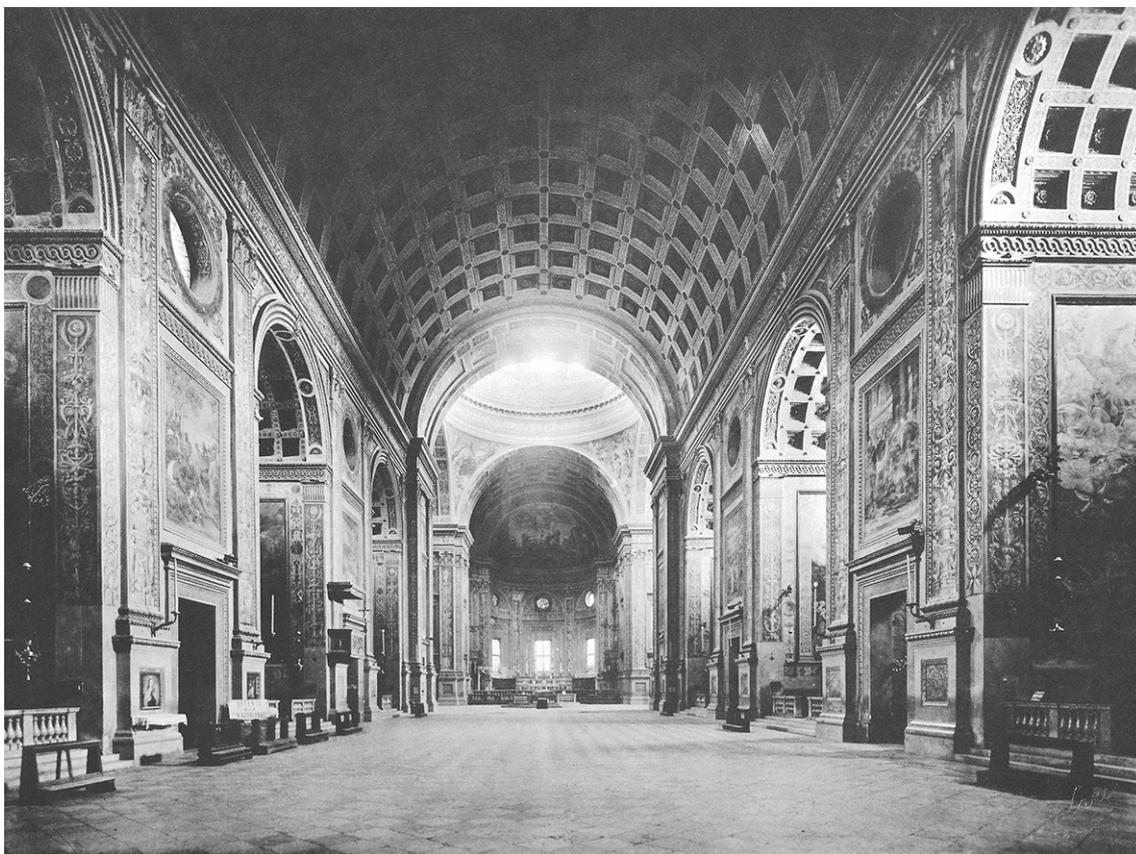


Figura 100. Rimini, fotografia do interior da nave de Sant'Andrea, com vista para a cabeceira, fonte: fonte: (Johnson, 1975, p. 140).

---

<sup>191</sup> No *De re aedificatoria*, a descrição geral dos edifícios sagrados sistematiza um método compositivo e proporcional mais alargado do que a descrição do templo Etrusco, que carece de pormenorização. Na descrição do templo Etrusco, Alberti prevê a colocação de celas nas paredes do topo das capelas centrais, não definindo a sua geometria nem proporção. Esta configuração é visível no conjunto de três capelas laterais que resistem na ruína da Basílica de Maxêncio, onde a capela central é rematada por um volume semicircular. Esta disposição não é descrita para a generalidade dos edifícios sagrados, mas, se fosse, provavelmente seria pormenorizada ao nível da forma e dimensão.

*O desdobramento do arco do triunfo para sistematização espacial*

Tal como no Templo Malatestiano, o pórtico de Sant'Andrea remete para a influência de um segundo protótipo edificado da Antiguidade Clássica<sup>192</sup> — o arco de triunfo, igualmente alvo de prescrições para o seu delineamento no Livro VIII (6,12).

O pórtico da frontaria Sant'Andrea adquire uma configuração tridimensional pela justaposição de um arco de triunfo à frontaria, constituindo um pórtico solto. A este facto não será alheia a localização da torre sineira pré-existente, não permitindo que a largura do pórtico corresponda à totalidade da largura da igreja, acentuando o seu carácter autónomo.



Figura 101. Rimini, frontaria de Sant'Andrea



Figura 102. Roma, ruínas da Basílica de Maxêncio, fonte: (Rossano, 2011).

A apropriação de Alberti à morfologia do arco de triunfo não é uma mera colagem desse modelo, em Sant'Andrea é adaptada a um sistema rítmico. Alberti transporta para o exterior a unidade rítmica presente nas paredes internas da nave — duas ossaturas ocas, ocupadas por uma pequena capela, intercaladas por um espaço aberto e amplo com tecto em abóbada de berço. Reciprocamente, o pórtico da fachada anuncia a estrutura interna da nave, inclusive, pela continuidade dos elementos do pórtico de arquivada, bem como as altimetrias destes mesmos elementos<sup>193</sup>. Verifica-se apenas a variação da distância entre as pilastras centrais do pórtico da

<sup>192</sup> Wittkower (1971, p. 54) refere que o arco de triunfo de Sant'Andrea remete para o arco de Titus, Roma, ou o arco de Trajano, Ancona. Por oposição, Tavernor faz referência ao arco de Constantino, Roma (1998, p. 179).

<sup>193</sup> Apesar da repetição do sistema arquivado no interior e exterior de Sant'Andrea, as pilastras da frontaria obedecem ao sistema coríntio, enquanto que as pilastras dos pórticos do interior da nave obedecem ao sistema compósito.

entrada e as pilastras que conformam a abertura das capelas laterais. No pórtico da fachada, a distância é maior resultando na possibilidade da fachada albergar a totalidade das pilastras que sustentam o arco da antecâmara central da entrada, enquanto que no interior da nave, as pilastras que sustentam os arcos das aberturas das abóbadas das capelas laterais surgem apenas na sua metade, voltando-se para o interior da capela.

Referiu-se o influxo da Basílica de Maxêncio na composição interna de Sant'Andrea, contudo, na basílica, as paredes laterais das capelas são compostas por uma abertura central com arco de meia volta e dois nichos laterais de menores dimensões (Figura 102), similar à composição do arco de triunfo.

A utilização desta composição em edifícios sagrados não será original de Sant'Andrea, porém pode-se especular que Alberti cria um sistema compositivo a partir do modelo do arco de triunfo e da Basílica de Maxêncio. Castex (1994, p. 59) considera que a solução alcançada em Sant'Andrea, ao contrário do que aconteceu no Templo Malatestiano, resulta num espaço estruturado, que se decompõe em elementos solidários e que o sistema de alternância entre ossatura e vazios, marcado e definido pórtico – sistema de colunas e entablamento estabelece princípios coerentes de relacionamento entre o interior e o exterior.

#### *Uma capela-mor segundo os cânones teóricos*

A proposta de Alberti para o remate do tardo de nave única é tema de discussão por diversos historiadores. Essencialmente, esta discussão centra-se em dois factos: a presença de uma abside semicircular na Basílica de Maxêncio e um desenho do século XVI que mostra uma capela retangular anexa ao tardo de Sant'Andrea.

Como suporte da hipótese de Alberti ter projetado uma capela-mor semicircular, pode-se referir a sua intervenção na igreja de *S. Marino a Gangalandi* (c.1432), localizada na vila Toscana de Lastra a Signa. De acordo com o testamento de Alberti<sup>194</sup>, o projeto da capela-mor semicircular anexa à igreja medieval é da sua autoria<sup>195</sup>. No contexto da nossa investigação, importa referir que a dimensão da abertura da capela corresponde a aproximadamente metade da largura da cela, uma proporção que verifica as prescrições do tratado.

Apesar de ser uma intervenção pontual, da responsabilidade do jovem arquiteto, este exemplo reforça a tese de que Alberti poderá ter planeado aplicar esta proporção à capela-mor de Sant'Andrea.

Uma segunda hipótese resulta da interpretação de um desenho de Cesare Pedemonte da fachada Este de Sant'Andrea (Figura 104) datado de 1580, onde é representada a fachada em estaleiro de obra, revelando a existência de um volume saliente do tardo acompanhado da inscrição

---

<sup>194</sup> Borsi, 1986, pp. 196-197, n.31; faz referência a G. Mancini, "Il testamento di L. B. Alberti", in *Archivio Storico Italiano*, Rome, LXXII (1914), vol. II, pp. 47.

<sup>195</sup> Apesar da falta de evidências para a datação rigorosa da execução desta capela, sabe-se que em 1932, o papa *Eugenius IV* atribui a Alberti o priorado de *S. Marino a Gangalandi*, localizada na vila Toscana de Lastra a Signa, diocese de Florença (Borsi, 1986, pp. 196-197). Razão para crer-se que terá sido durante esse período que a capela tenha sido projetada e construída. Dada a sua pequena dimensão, da obra deverá ter-sido construída durante a década de 1430, tratando-se, provavelmente, da primeira obra de Alberti.

“capella antica” (Johnson, 1975, pp. 100-101). O historiador Eugene Johnson, no livro *S. Andrea in Mantua* (1975) — provavelmente, um dos textos mais completos sobre a origem e desenvolvimento desta igreja — refere que no final do século XIX, o historiador E. Ritscher<sup>196</sup> defende que a capela antiga pertenceria à igreja Beneditina pré-existente, tendo sido demolida para a construção de Sant’Andrea. Todavia, Johnson, argumenta que o termo “antiga” utilizado por Pedemonte, poderá remeter para o período de 108 anos que haviam passado desde o início da obra de Sant’Andrea em 1472, segundo projeto de Alberti e coordenação de Luca Fancelli. Este argumento, também partilhado por Tavernor (1985, p. 157), sustenta a hipótese de Alberti ter sido o responsável pelo traçado desta capela, validando a inclusão de uma capela-mor em desenhos que pretendam reproduzir o projeto albertiano para Sant’Andrea.



Figura 103. Mântua, vista aérea Nordeste de Sant’Andrea, de fonte: (Johnson, 1975, p. 136).

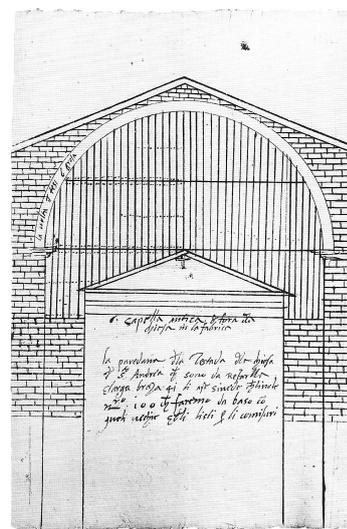


Figura 104. Desenho de Cesare Pedemonte da fachada Este da nave de Sant’Andrea. Este desenho é anexo a uma carta de 3 de Dezembro de 1580 (Mantua, Archivio Gonzaga, F.111.8, b.2611).  
Fonte ilustração: (Johnson, 1975, p. 138)

Segundo Johnson (1975, pp. 100-101) no desenho de Pedemonte, a largura da capela, entre extradorsos, mede aproximadamente 28 *braccias*, enquanto que a nave mede 42 *braccias* de largura. Esta relação de dimensões corresponde exatamente a uma relação de 4:6, uma das proporções previstas no *De re aedificatoria* para a abertura da capela-mor. Porém, este *ratio* é inferido pelo extradorso da capela, pelo que a dimensão da abertura da capela será menor, não correspondendo à relação de 4:6, e sendo mais próxima da relação de 1:2, o outro *ratio* previsto no tratado para o dimensionamento da abertura da capela.

A segunda questão levantada pelo desenho de Pedemonte, e que favorece o argumento da capela ser contemporânea de Alberti, é o facto de ser encimada por um entablamento e frontão, fazendo supor que se trataria de uma capela de planta retangular e não circular.

<sup>196</sup> E. Ritscher, *Die Kirche S. Andrea in Mantua*, Berlin : W. Ernst u. Sohn, 1899, p.10.

Tendo em consideração os factos expostos, na tentativa de sermos o mais fieis possível ao projeto de Alberti para Sant'Andrea, na nossa investigação, recorreremos aos desenhos elaborados pelo *Olivetti/Alberti Group* (Rykwert & Engel, 1994; 1998)<sup>197</sup>, onde se considera existência de capela-mor de forma retangular, com a proporção de 1:2, situada no arranque do transepto.

#### 4.2.4. Sumário prévio

Se o *De re aedificatoria* expõe um Alberti confiante no passado para encontrar soluções na contemporaneidade, nos últimos vinte anos da sua vida (1452-1472) a sua obra edificada mostra a ampliação do seu universo de referências a outros modelos. Os princípios teóricos do *De re aedificatoria* são complementados e transformados, pela concatenação e adaptação de modelos, de modo a adequarem-se às idiossincrasias do lugar, do programa, do cliente, enfim, do contexto do projeto, resultando em abordagens de projeto específicas na unidade da linguagem arquitetónica. Não se trata de rejeição e transgressão da herança Clássica, mas a convicção de que não existem modelos absolutos. Conforme refere Patetta (2005, p. 123) a sua prudência e cepticismo poderão ter origem no facto de considerar/descobrir que os princípios edificatórios da Antiguidade Clássica constituem um sistema e linguagem complexos.

---

<sup>197</sup> No artigo *Architectural history and computing: developing a new discipline*, Tavernor (1995) explicita o processo que o *Alberti Group* utilizou para a execução de levantamentos fotogramétricos dos edifícios de Alberti. Estes modelos digitais foram apresentados na exposição *Leon Battista Alberti*, patente no Palazzo Tè, Mântua, em 1994. São igualmente publicados no catálogo da exposição (Rykwert & Engel, 1994) e por Tavernor, no livro *On Alberti and the Art of Building*, publicado em 1998. A fiabilidade que este método introduz no levantamento dos edifícios de Alberti determinou a sua utilização como fonte para os desenhos utilizados nesta investigação.

### 4.3. Avaliação Analítica inversa de um *corpus* de edifícios de Alberti

Este subcapítulo implementa uma metodologia que auxilia à avaliação da influência da teoria albertiana na sua prática arquitetônica, isto é, tenta compreender se a obra construída de Alberti consta do universo de soluções e linguagem do *De re aedificatoria*. Como referido na introdução deste capítulo esta tarefa é executada-se por recurso à avaliação analítica inversa da GF<sub>A</sub> segundo os cânones edificatórios de Alberti, constando da concatenação de dois modelos de análise: (a) o teste analítico inverso da GF<sub>A</sub>; (b) a avaliação de correlação da GF<sub>A</sub> por Modelo de Regressão Linear Simples. Desse modo, após exposição da metodologia inerente a estes dois modelos, descreve-se o processo de avaliação da GF<sub>A</sub> no contexto do Templo Malatestiano, de San Sebastiano e de Sant'Andrea.

#### *Análise inversa*

O primeiro modelo recorre à capacidade gerativa da GF<sub>A</sub> para identificar aspetos edificatórios convergentes e divergentes entre o universo de soluções da GF<sub>A</sub> e os edifícios de Alberti. Este processo divide-se em três etapas e foca-se nas descrições do tratado e características inferidas dos edifícios determinantes à composição interna dos templos e pórtico.

(1) Inicialmente, executaram-se esquemas gráficos sobre as plantas, cortes e alçados dos projetos, sintetizando e colocando em evidência princípios morfológicos e proporcionais para o delineamento do corpo e pórtico destes projetos (ver Anexo V).

(2) Reuniram-se os princípios edificatórios inferidos nos esquemas gráficos em tabelas, organizando-os segundo os parâmetros, condições e relações espaciais consideradas nas regras de forma da GF<sub>A</sub>. Por este meio, clarificaram-se as divergências e correspondências entre as relações morfológicas e proporcionais implícitas aos parâmetros inferidos na GF<sub>A</sub> - da *De re aedificatoria* - e aquelas presentes nos projetos desenvolvidos por Alberti.

Este processo auxiliou à seleção das variáveis (números, proporções, geometrias, etc.) mais adequadas a aplicar nos parâmetros e condições de cada uma das regras ao longo do processo de derivação de soluções com o maior grau de correspondência possível com o edifício.

Simultaneamente, esta tarefa possibilitou mapear os desvios dos edifícios relativamente à gramática. Conforme exposto mais adiante, estes dados permitiram deduzir o grau de correspondência entre a solução gerada e o edifício existente pelo recurso a modelos matemáticos tradicionalmente utilizados em análise estatística.

(3) A derivação de soluções pela aplicação das regras de forma da GF<sub>A</sub> tomou em consideração as características morfológicas e proporcionais sintetizadas nas tabelas, de modo a gerar os exemplos mais afins possíveis com os cânones do tratado.

Conforme referido, a avaliação restringe-se à planta dos projetos, correspondente a um processo gerativo que se inicia no *Estágio 1. Composição interna dos templos* e termina no *Estágio 3. Delineamento do pórtico*, pelo que testa-se apenas o critério analítico de uma parte da GF<sub>A</sub>.

De modo a facilitar a percepção visual da convergência e divergência entre as soluções geradas pela GF<sub>A</sub> e os projetos de Alberti, sobrepuseram-se os dois projetos (duas plantas). Para tal, am-

bos os projetos são representados à mesma escala, tomando-se como referência apenas o valor real do parâmetro correspondente à largura da cela ( $w_i$ ) — o parâmetro do qual depende o início do processo de derivação da planta.

### *Modelo de Regressão Linear Simples (MRLS)*

Normalmente, o teste analítico de uma GF realiza-se pela identificação de um projeto existente no universo de soluções projeto da GF. O grau de correspondência entre os dois projetos pode ser variável. Por exemplo, podem detetar-se semelhanças ao nível da composição espacial, ou da topologia, mas verificar-se divergências ao nível das dimensões ou proporções.

Em absoluto esta situação demonstrará a incapacidade da GF gerar esse projeto de modo fidedigno. Porém, pelo recurso à teoria da regressão e correlação determina-se, em termos estatísticos, o grau de explicitação que os parâmetros intrínsecos ao universo de soluções de uma GF tem sobre os mesmos parâmetros de um projeto existente. Por este motivo, e dada a importância que sistemas de proporções e números têm no *De re aedificatoria*, propõe-se o recurso a modelos estatísticos enquanto ferramentas complementares à execução do teste analítico da GF<sub>A</sub>.

A teoria da regressão e correlação são métodos estatísticos difundidos para a análise da associação de duas ou mais variáveis (Naghetini & Pinto, 2007, p. 355). Este subcapítulo tem o objetivo de apresentar os fundamentos destes métodos, expondo o recurso a modelos de regressão linear simples e correlação na avaliação do grau de associação das variáveis inferidas dos edifícios de Alberti, com as variáveis descritas no *De re aedificatoria*.

Os termos regressão e correlação são introduzidos por Francis Galton (1822-1911) na década de 1880, decorrentes do estudo de relações entre características antropométricas de sucessivas gerações. Galton socorre-se de diagramas de dispersão para observação de variâncias de variáveis em análise — representações geométricas de uma coleção de pontos segundo os eixos cartesianos X e Y, cujas coordenadas correspondem aos valores de cada membro de pares de variáveis em análise. Estes diagramas permitiram que Galton observasse a “regressão” homogénea de conjuntos de variáveis representativos de segundas gerações das espécies em análise (Crilly, 2007, p. 207).

Atualmente, a análise de regressão é uma das mais importantes técnicas estatísticas, sendo utilizada no estudo do comportamento de uma variável dependente (Y) em relação a uma ou mais variáveis independentes (X), responsáveis pela sua formação<sup>197</sup> (Martins, 2000). A representação deste conjunto de variáveis num diagrama de dispersão permite visualizar em simultâneo o grau de associação das diversas variáveis em observação.

---

<sup>197</sup> Com os três principais objetivos: descrição, controle e previsão (Martins, 2000).

O modelo de regressão linear simples (MRLS) é assim denominado porque envolve apenas uma variável independente, enquanto a análise de regressão que envolve duas ou mais variáveis independentes é denominada regressão múltipla (Hair, Tatham, & Black, 2005).<sup>198</sup>

O MRLS é definida pela equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 (X_i) + \varepsilon$$

em que:

- $Y$  é a variável dependente ou explicada;
- $X_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) é a variável independente ou explicativa;
- $\beta_0$  representa o valor de  $Y$ , a estimar, quando as variáveis independentes são nulas;
- $\beta_1$  é o coeficiente de regressão (declive da reta);
- $\varepsilon$  é o resíduo ou erro de previsão, ou seja,  $\varepsilon$  é a diferença entre os valores reais e os previstos da variável dependente (Hair, Tatham, & Black, 2005). A variável  $\varepsilon$  inclui todas as influências no comportamento da variável  $Y$  que não podem ser explicadas linearmente pelo comportamento da variável  $X$ .

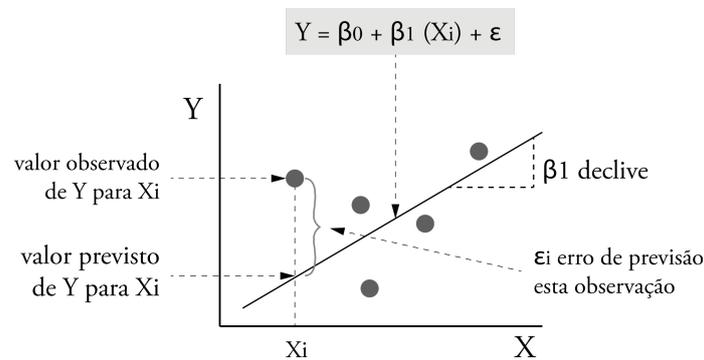


Figura 105. Simulação de gráfico de dispersão, onde observam-se as diferentes variáveis que compõe a equação que define a linha de regressão.

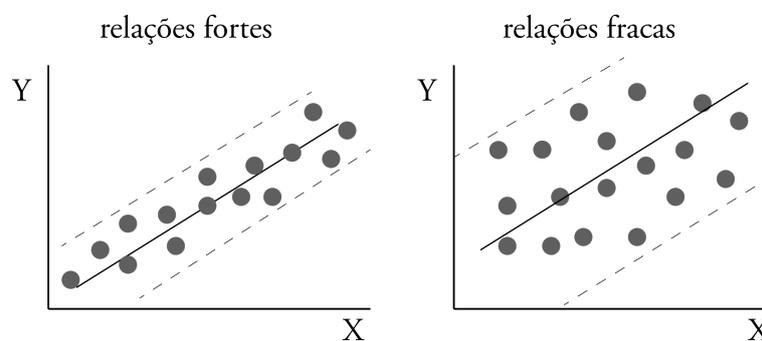


Figura 106. Exemplos de dois gráficos de dispersão. No gráfico da esquerda, as variáveis independentes ( $X_i$ ) detém uma maior capacidade explicativa das variáveis dependentes ( $Y$ ) do que o gráfico da direita, onde verifica-se uma maior dispersão de pontos.

<sup>198</sup> De entre os modelos de regressão linear o mais usado é o de Poisson pois tem por característica a análise de dados contados (medidos) na forma de proporções ou razões de contagem (McCullagh; Nelder, 1989). Este modelo teve origem por volta de 1970, quando Wedderburn (1974) desenvolveu a teoria da *quasi* verossimilhança, analisada com mais detalhes por McCullagh (1983).

Galton, apercebe-se ainda que determinadas variáveis em análise estavam “correlacionadas” quando os declives das retas de regressão de cada uma das variáveis sobre a outra eram as mesmas. A este declive comum, correspondente à medida da sua variação conjunta, designa-se de coeficiente de correlação, podendo ser aplicado na medição da relação das variáveis (Katz, 2010, pp. 980-982).

O estatístico Karl Pearson (1857-1936) prosseguiu os estudos de Galton, propondo um coeficiente de correlação (de Pearson) para a avaliação numérica do grau de associação linear existente entre duas variáveis.

O valor do coeficiente de correlação Pearson ( $R$ ) situa-se no intervalo  $-1 < R < 1$ , contudo, na análise de correlações lineares positivas<sup>199</sup> considera-se o intervalo  $0 < R < 1$ , em que se:

- $R = 0$ , sugere a inexistência de correlação entre as variáveis.
- $R = 0,5$ , sugere uma correlação linear moderada entre as variáveis;
- $R = 1$ , sugere uma correlação linear forte.

Num processo de análise por regressão linear, um segundo coeficiente, denominado de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é utilizado para a quantificação da percentagem da variação total das variáveis dependentes ( $Y$ ) que é explicitada no modelo de regressão, pelas variáveis independentes ( $X$ ) (Reis, 2008, pp. 163-186).

Quanto maior o  $R^2$  mais a variação total de  $Y$  é reduzida pela introdução de  $X$  no modelo (reta de regressão). O coeficiente de determinação situa-se no intervalo  $0 \leq R^2 \leq 1$ , e se:

- $R^2 = 0$ , a variável  $X$  não pode ser usada para explicar a variação (0%) da variável  $Y$  por regressão linear, isto é,  $X$  não explicita  $Y$ .
- $R^2 = 0,5$ , a variável  $X$  é moderadamente responsável pela variação (50%) nas observações da variável  $Y$ , isto é,  $X$  explicita moderadamente  $Y$ ;
- $R^2 = 1$ , a variável  $X$  é responsável por toda a variação (100%) nas observações da variável  $Y$ , isto é,  $X$  explicita  $Y$ ;

Na década de 1960, no contexto de investigações das Ciências Sociais Humanas, surge o primeiro *software* para manipulação, análise e apresentação de dados estatísticos. Por este motivo foi nomeado de *Statistical Package for the Social Science*, comumente referido pelo acrónimo SPSS.

Atualmente, o SPSS é aplicado nas mais diversas áreas científicas (Marôco, 2007). No contexto da nossa investigação, utilizamos o programa *IBM® SPSS® Statistics* (versão 22)<sup>200</sup>. Esta escolha justifica-se pela extrema facilidade de utilização deste programa, em que através do seu interface gráfico é possível automatizar a análise e cálculo de diferentes teoremas estatísticos. E ainda, pelo facto de permitir a aplicação de MRLS, a geração de gráficos de dispersão, bem como o cálculo do coeficiente de correlação e determinação de um par de variáveis.

---

<sup>199</sup> Isto porque se a correlação for negativa significa que uma variável aumenta quando a outra diminui o que não se aplica ao modelo em estudo.

<sup>200</sup> Descarregado do portal: <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>

Na introdução a este capítulo referimos que o MRLS auxiliaria à avaliação da convergência de números e proporções presentes na amostra de obras edificadas de Alberti, com as proporções e números descritos no *De re aedificatoria*, e implementados na GF<sub>A</sub>.

No decorrer da apresentação dos subcapítulos que se seguem, e no contexto da análise dos edifícios de Alberti, procederemos à análise da capacidade das descrições da GF<sub>A</sub> explicitarem os números e proporções presentes nesses edifícios. Dito isto, esta análise não retrata a avaliação de características formais, analisadas à luz do modelo de análise inversa descrito anteriormente, mas, complementa-a.

#### 4.3.1. Templo Malatestiano

##### *Avaliação analítica inversa da planta do Templo Malatestiano*

Das três obras de Alberti consideradas para a avaliação da GF<sub>A</sub> o Templo Malatestiano é a que detém menos elementos para análise. Este facto decorre do contexto em que o projeto é desenvolvido. A circunstância de tratar-se de um projeto que transforma uma igreja pré-existente, de traça gótica tardia, numa versão de um templo clássico contemporâneo não terá permitido que Alberti desenvolva-se plenamente os princípios morfológicos e proporcionais que prescreve no *De re aedificatoria*.

Globalmente, a intervenção de Alberti consiste na adaptação de duas regras edificatórias que não fazem parte dos cânones dos edifícios sagrados de planta retangular: (1) a adição de arcadas ao longo do paramento exterior das paredes das fachadas laterais da igreja de San Francesco; (2) a adição de um pórtico de frontaria que se assemelha a um arco triunfal.

Em ambos os casos, Alberti adapta as proporções destes elementos às dimensões do edifício pré-existente. Inclusive, nas fachadas laterais é possível ver a fachada e janelas da parede original. Alberti teria ainda previsto a adaptação de um terceiro elemento: (3) a adição de uma capela *rotonda* com cúpula, similar à capela da basílica de *Santissima Annunziata*, na localização da capela-mor.

No contexto das descrições do tratado a intervenção de Alberti na igreja de San Francesco sugere um processo de adaptação de três regras de edificação aparentemente dissonantes, não prescritas para o delineamento de edifícios sagrados de planta retangular e, combinadas num único corpo. Se considerarmos que esta intervenção corresponde à construção de um “envelope” autónomo do edifício pré-existente<sup>201</sup>, no âmbito da nossa investigação, a análise morfológica e proporcional do T. Malatestiano poderá restringir-se à proposta de Alberti.

No Anexo V apresentam-se esquemas de análise das proporções da planta (Figura 107) e alçados do Templo Malatestiano. Desta análise exclui-se a hipotética construção de uma capela *rotonda* na localização da capela-mor, uma vez todas os desenhos que retratam a construção desta capela são especulativos, e porque, a sua morfologia aproxima-se mais de um templo poligonal<sup>202</sup> do que

---

<sup>201</sup> Se no revestimento das fachadas do *Palazzo Rucellai*, Alberti adapta as proporções do sistema de colunas às proporções do sistema de aberturas pré-existente (colocar referência), a sua proposta para o Templo Malatestiano adapta-se apenas ao perímetro da igreja de San Francesco, não se ajustando ao ritmo e proporções das janelas de traça gótica, cuja legibilidade exterior é possível através das aberturas das fachadas laterais.

<sup>202</sup> No Livro VII, Alberti inicia a descrição de templos de planta poligonal. Este tipo de templos partilha algumas características dos templos retangulares, contudo, não é prescrito qualquer tipo de associação de ambas as tipologias num único corpo.



ção interno do edifício)<sup>203</sup>; (2) a espessura das paredes das fachadas laterais não verificam as condições previstas no tratado.

Tabela 28. Sumário de características morfológicas e proporcionais das partes do Templo Malatestiano, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria*, relativa à planta da igreja.

## PLANTA

### Cela

Proporção (Li : Wi) 1:1  $\sqrt{4}:\sqrt{3}$   $\sqrt{3}:\sqrt{2}$  4:3  $\sqrt{2}:1$  3:2  $\sqrt{3}:1$  16:9 2:1 9:4 8:3 3:1 4:1  
 li - comprimento da cela  
 wi - largura da cela

Capela-mor Sim Não não se considera

Abertura (Wc : Wi) 1:2 2:3 não se considera  
 wc - abertura da capela  
 wi - largura da cela

Geometria Retangular Circular não se considera

Proporção (Lc : Wc) 1:2 1:2 não se considera  
 Lc - profundidade da capela  
 Wc - abertura da capela

Capelas laterais Sim Não existem apenas aberturas

Número Ncl 2 6 10 14

Abertura (Wc : Wcl) 1:1 1:11/12 1:4  
 wc - abertura da capela  
 wi - largura da cela

Geometria Retangular Circular Rec/Cir Cir/Rec não se considera

Proporção (Lcl : Wcl) 1:2 não se considera  
 Lcl - largura da cela  
 Wcl - abertura da capela

Ossatura (Wcl : Ws) [1:1/5, 1: 1/3] 1 : 1/2  
 Ws - largura da ossatura  
 Wcl - abertura da capela

Parede Espessura (We:Tw) 1:12 1:9 1:20  $H_w : T_w = H_{col} : D_{col} \quad 1:10 = 1:8$

We - largura do templo  
 Tw - espessura da parede  
 Parede da frontaria  
 Paredes laterais, relativas à arcada proposta por Alberti  
 $H_w$  - altura das paredes  
 $D_{col}$  - diâmetro da coluna  
 $H_{col}$  - altura da acoluna

x : y variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria*

x : y variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria*

x : y variáveis que não verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas (p.e. não existem capelas laterais, contudo consideramos que as aberturas das fachadas laterais como se fossem aberturas de capelas laterais).

x : y variáveis que verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas (p.e. não existem capelas laterais, contudo consideramos que as aberturas das fachadas laterais como se fossem aberturas de capelas laterais).

<sup>203</sup> No subcapítulo 3.2.3.1. *Composição interno do edifício - Regras 2 e 3: Abertura de Capelas*, demonstra-se a impossibilidade de uma cela com a proporção 4:3 acomodar mais do que um par de capelas laterais. Este facto é verificado no subcapítulo 3.3.3. *Universo de soluções de projecto*.

No processo de derivação de uma solução de projeto da GF<sub>A</sub> ilustrado na Figura 108, os valores adotados para as variáveis que intervêm no cálculo dos parâmetros que regulam as dimensões das partes do templo pertencem ao conjunto de valores inferidos do tratado, sendo iguais, ou, os mais aproximados, dos números e proporções inferidos da análise do T. Malatestiano (ver coluna III da Tabela 29). Neste processo, consideramos a adição de uma capela-mor retangular (Regra 4b) apenas como referência a essa possibilidade, sendo indiferente, neste caso, a geração de uma capela semicircular ou retangular.<sup>204</sup>

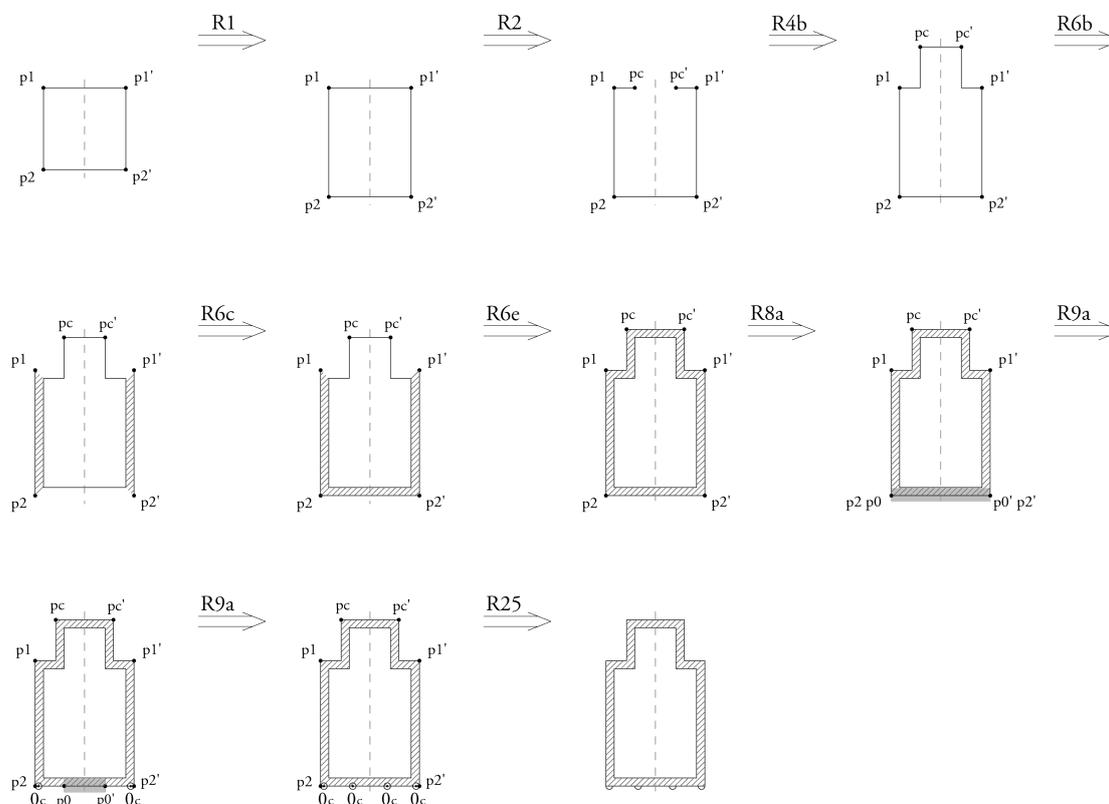


Figura 108. Derivação da solução de projeto da GF<sub>A</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma – da solução de maior afinidade com Templo Malatestiano. Derivação referente à gramática de vista em planta, e restrita à capacidade gerativa do *Estágio 1* ao *Estágio 3*.

A sobreposição desta planta à planta do T. Malatestiano confirma que a implantação de uma capela-mor, conforme descrito no tratado, cria uma relação espacial estranha ao templo de Rimini, confirmando mais duas divergências: (1) a GF<sub>A</sub> não permitiu a abertura de capelas laterais num templo desta proporção e em consonância com o referido anteriormente; (2) no pórtico da frontaria, percebe-se o desvio do relação proporcional estabelecida entre o diâmetro das colunas e o intercolúnio ( $i = 7 d_{col}$ ), sendo que o *ratio* mais próximo, aplicado no exemplo de derivação, corresponde ao espaçamento ampliado ( $i = 27/8 d_{col}$ ).

<sup>204</sup> Conforme exposto mais acima, o único indício da intenção de Alberti adicionar uma capela-mor ao T. Malatestiano, corresponde à construção de uma capela *rotonda*, correspondente a um paradigma não considerado no tratado.

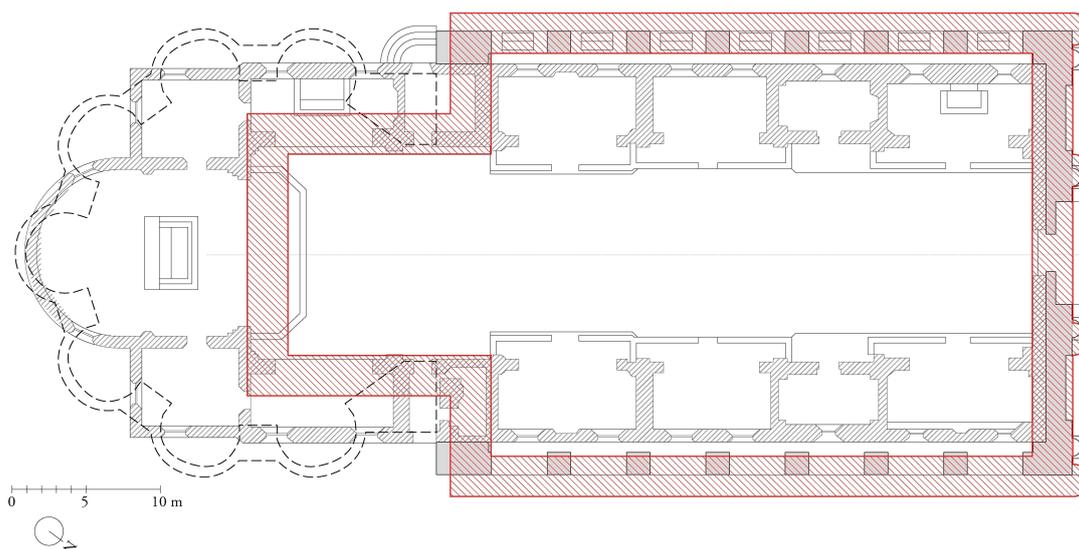


Figura 109. Sobreposição da planta do Templo Malatestiano - na versão considerada para o nosso estudo, com planta gerada pela GF<sub>A</sub> (a vermelho).

### *Avaliação do grau de correlação da gramática com a planta do Templo Malatestiano*

A Tabela 29 articula os dados necessários à avaliação da correlação da GF<sub>A</sub> com a planta do T. Malatestiano. Na coluna III desta tabela listam-se as variáveis inferidas do *De re aedificatoria*, com maior correspondência, ou iguais às presentes na planta de Sant'Andrea (assinalando-se os respetivos parâmetros na coluna I e condições para a sua aplicação na coluna II). Similarmente, na coluna V, assinalam-se as variáveis deduzidas da análise da planta do templo, conforme registadas na Tabela 28.

Tomando em consideração a dimensão real da largura da cela ( $w_i$ ) em metros e *braccias*, calcularam-se as dimensões das partes da solução de projeto gerada pela GF<sub>A</sub> (coluna IV). Estes valores consistem nas variáveis independentes (Y) a serem utilizadas na avaliação. Por outro lado, as dimensões dependentes (X), relativas às dimensões das partes da planta do T. Malatestiano, foram medidas na respetiva planta e listam-se na coluna VI da tabela.

Após a compilação do conjunto de variáveis dependentes e independentes, recorreu-se ao programa SPSS para a geração do gráfico de dispersão, expondo a reta de regressão representativa da relação entre os dois conjuntos de variáveis. O Gráfico 1 identifica os parâmetros/variáveis em análise, bem como a sua posição relativa à reta de regressão. Singularmente, todos os pontos aparentam ser colineares à reta de regressão, não apresentado qualquer dispersão, o que indica um forte relação entre as variáveis dependentes e independentes em análise.

Obtém-se ainda o coeficiente de regressão de 100,0% ( $R = 1,00$ ) confirmando a forte correlação entre as variáveis. E o coeficiente de determinação, que também correspondendo a 100,0% ( $R^2 = 1,00$ ), sugerindo que as variáveis independentes (X) explicitam as variáveis independentes (Y).<sup>205</sup>

Em suma, através da análise do MRLS, poder-se-á considerar que as variáveis consideradas para esta análise, e que retratam algumas das proporções e números de partes da planta do Templo

<sup>205</sup> O erro de precisão obtido corresponde a  $\epsilon = 0,00263$ .

Malatestiano têm um forte grau de convergência com as proporções e números descritos inferidos do *De re aedificatoria* e implementados na GF<sub>A</sub>.

Tabela 29. Lista de valores inferidos do tratado (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes no T. Malaetestiano (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respectivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de T. Malaetestiano. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões do T. Malaetestiano para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.

I. parâmetros	II. condições	<i>De re aedificatoria</i>			T. Malaetestiano		
		III. variável/valor*	IV. metros <i>braccias</i>		V. variável/valor*	VI. metros <i>braccias</i>	
<b>wi</b>			27,12	12,69		27,12	12,69
<b>li</b>	$li = \alpha wi$	$\alpha = 4/3$	36,16	16,92	$\alpha = 4/3$	36,2	16,94
<b>wc</b>	$wc = \beta wi$	$\beta = 1/2$	13,56	6,35	$\beta = 1/2$	13,56	6,35
<b>lc</b>	$lc = \Theta wc$	-	-	-	não tem	-	-
<b>wcl</b>	$wcl = \varphi wc$	$\varphi = 11/12$	12,43	5,82	$\varphi = 1/4$	3,54	1,66
<b>lcl</b>	$lcl = \gamma wcl$	-	-	-	não tem	-	-
<b>ws</b>	$ws = \varphi' wcl$ $1/5 \leq \varphi' \leq 1/3 \vee \varphi' = 1/2$	$\varphi' = 1/2$	6,22	2,91	$\varphi' = 1/2$	1,77	0,83
<b>tw</b>	$tw = \sigma we$	$\sigma = 1/12$	2,71	1,27	$\sigma = 1/12$	1,5	0,70
<b>we</b>	$we = (1 + 2\sigma) / wi$		32,54	15,23		30,12	14,10
<b>i</b>	$dcol = wport / (ncol (1 + \delta) - 3/4 \delta)$ $\delta \in \{3/2, 2, 9/4, 3, 27/8\}$	$\delta = 27/8$	6,33	2,96	$\delta = 6 1/5$	7,16	3,35
<b>ic</b>	$ic = 5/4 i$	$ic = 5/4 i$	7,91	3,70	$ic = 5/4 i$	9,15	4,28

\* trata-se do valor inferido do tratado que tem maior correspondência com o valor inferido no edifício.

\*\* valores a vermelho não têm correspondência com o *De re aedificatoria*

nota: a unidade de medida *braccias* é referente às *braccias mantuana.*, cuja unidade corresponde a aproximadamente 0,468 metros.

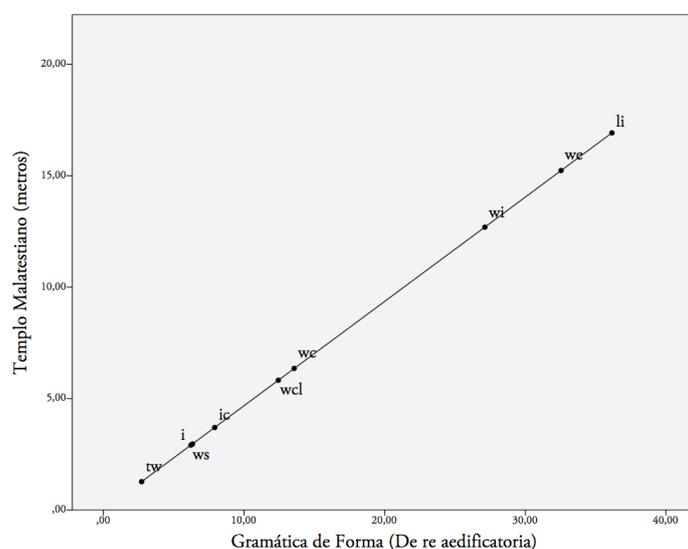


Gráfico 1. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da GF<sub>A</sub> no Templo Malatestiano.

### 4.3.2. Igreja de San Sebastiano

#### *Avaliação analítica inversa da planta de San Sebastiano*

A análise das proporções das partes que compõem a planta de San Sebastiano (Figura 110) — cela, capelas anexas e pórtico —, possibilitou o registo das características morfológicas e proporcionais convergentes e divergentes dos princípios edificatórios inferidos do *De re aedificatoria* implementados na GF<sub>A</sub> (Tabela 30)<sup>206</sup>.

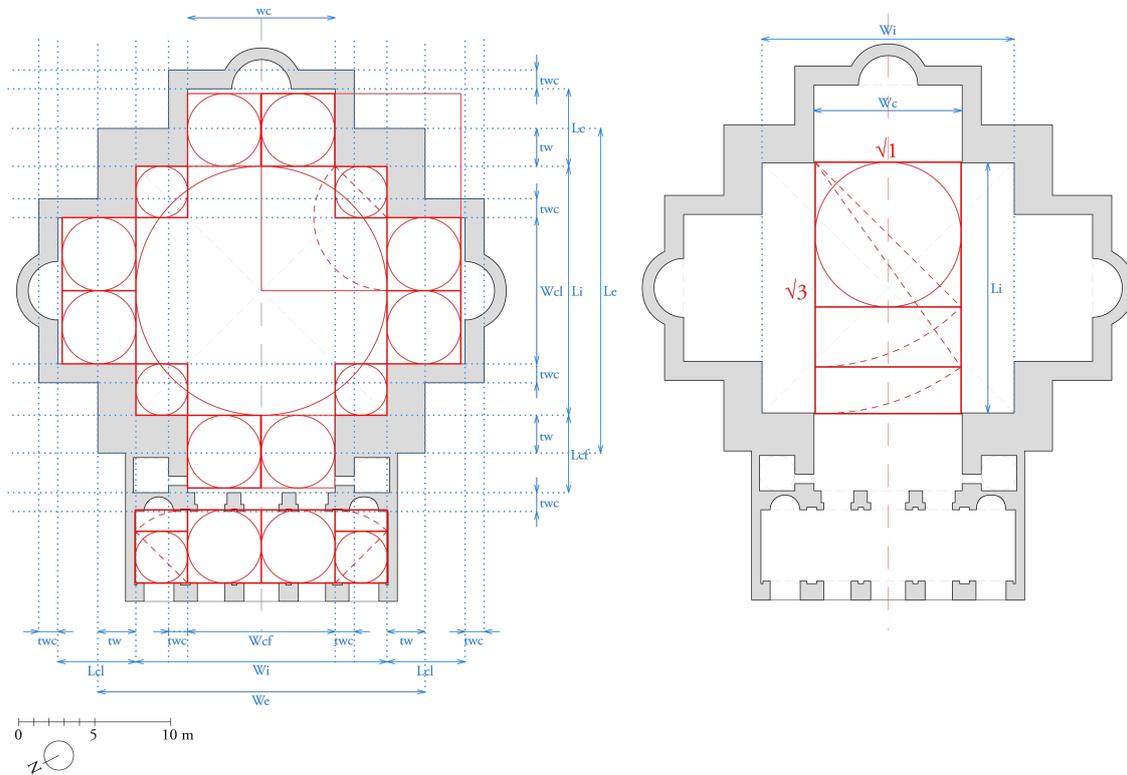


Figura 110. Análise da de proporções da planta de San Sebastiano. Análise da relação da proporção da abertura da capela-mor relativamente à largura da cela ( $\sqrt{1} : \sqrt{3}$ ). Fonte: do desenho base (Tavernor R., 1998, p. 137).

Através desta análise prévia identificam-se diversos princípios edificatórios comuns ao tratado e ao delineamento de San Sebastiano: (1) a forma e proporção (1:1) da cela caracterizam uma planta central quadrada; (2) a existência de uma capela-mor no topo da cela, com uma geometria base retangular; (3) a localização de duas capelas laterais retangulares; (4) a espessura das paredes da cela verifica o *ratio* de 1:9 da largura do templo; (5) a localização relativa do pórtico da frontaria e respetivo intercolúnio - com um *ratio* de 1:3, correspondente a um espaçamento sub-ampliado.

Simultaneamente, identificaram-se princípios que não convergem com as descrições do tratado: (1) a abertura da capela-mor corresponde ao *ratio* de  $\sqrt{1} : \sqrt{3}$  da largura da cela<sup>207</sup>, caracterizando uma relação não prevista no tratado; (2) a largura das paredes que conetam a abertura das

<sup>206</sup> O Anexo V apresenta um conjunto mais alargado de análise de San Sebastiano, que se estendem à corte e alçado da frontaria.

<sup>207</sup> Alberti poderá ter considerado a utilização de números inatos (ver subcapítulo 3.1.4.6. *A dimensão edificatória dos números*) para o dimensionamento da abertura da capela-mor.

capelas laterais às paredes de tardoz e frontaria (ossatura) corresponde a um *ratio* de  $1:2\sqrt{2}$  da abertura das capelas laterais. Apesar da sua natureza irracional, este *ratio* não é prescrito por Alberti no contexto das proporções inatas. Porém, o *ratio* de  $1:2\sqrt{2}$  é próximo do 1:3, valor que se ajustaria às condições e intervalos previstos por Alberti para o cálculo da ossatura.

Tabela 30. Sumário de características morfológicas e proporcionais das partes da igreja de São Sebastiano, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria*, relativa à planta da igreja.

## PLANTA

### Cela

Proporção (Li : Wi)	1:1	$\sqrt{4}:\sqrt{3}$	$\sqrt{3}:\sqrt{2}$	4:3	$\sqrt{2}:1$	3:2	$\sqrt{3}:1$	16:9	2:1	9:4	8:3	3:1	4:1
---------------------	-----	---------------------	---------------------	-----	--------------	-----	--------------	------	-----	-----	-----	-----	-----

li - comprimento da cela  
wi - largura da cela

Capela-mor	Sim	Não
------------	-----	-----

Abertura (Wc : Wi)	1:2	2:3	$\sqrt{1}:\sqrt{3}^{208}$
--------------------	-----	-----	---------------------------

wc - abertura da capela  
wi - largura da cela

Geometria	Retangular	Circular
-----------	------------	----------

Proporção (Lc : Wc)	1:1	1:2	1:2
---------------------	-----	-----	-----

Lc - profundidade da capela  
Wc - abertura da capela

Capelas laterais	Sim	Não
------------------	-----	-----

Número Ncl	2	6	10
------------	---	---	----

Abertura (Wc : Wcl)	1:1	1:11/12	não se considera
---------------------	-----	---------	------------------

wc - abertura da capela  
wi - largura da cela

Geometria	Retangular	Circular	Rec/Cir	Cir/Rec
-----------	------------	----------	---------	---------

Proporção (Lcl : Wcl)	1:2
-----------------------	-----

Lcl - largura da cela  
Wcl - abertura da capela

Ossatura (Wcl : Ws)	[1:1/5 , 1: 1/3]	1 : 1/2	$2\sqrt{2} : \sqrt{1}$
---------------------	------------------	---------	------------------------

Ws - largura da ossatura  
Wcl - abertura da capela

Parede Espessura (We:Tw)	1:12	1:9	1:18	$H_w : T_w = H_{col} : D_{col} \quad 1:7 = 1:9$
--------------------------	------	-----	------	---

We - largura do templo  
Tw - espessura da parede

$H_w$  - altura das paredes  
 $D_{col}$  - diâmetro da coluna  
 $H_{col}$  - altura da acoluna

$x : y$  variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria*

$x : y$  variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria*

A Figura 111 ilustra a derivação da planta de um templo de base retangular pela sucessiva aplicação de regras de forma da  $GF_A$ , neste processo generativo, os valores adotados para as variáveis que operam o cálculo dimensional dos parâmetros intervenientes nas regras de forma, pertencem ao conjunto de valores inferidos do tratado, sendo iguais, ou os mais aproximados dos números e proporções inferidos da planta de San Sebastiano (ver coluna III da Tabela 31).

<sup>208</sup> 20:34 - planta com anotações em *braccias*, Antonio Labacco.

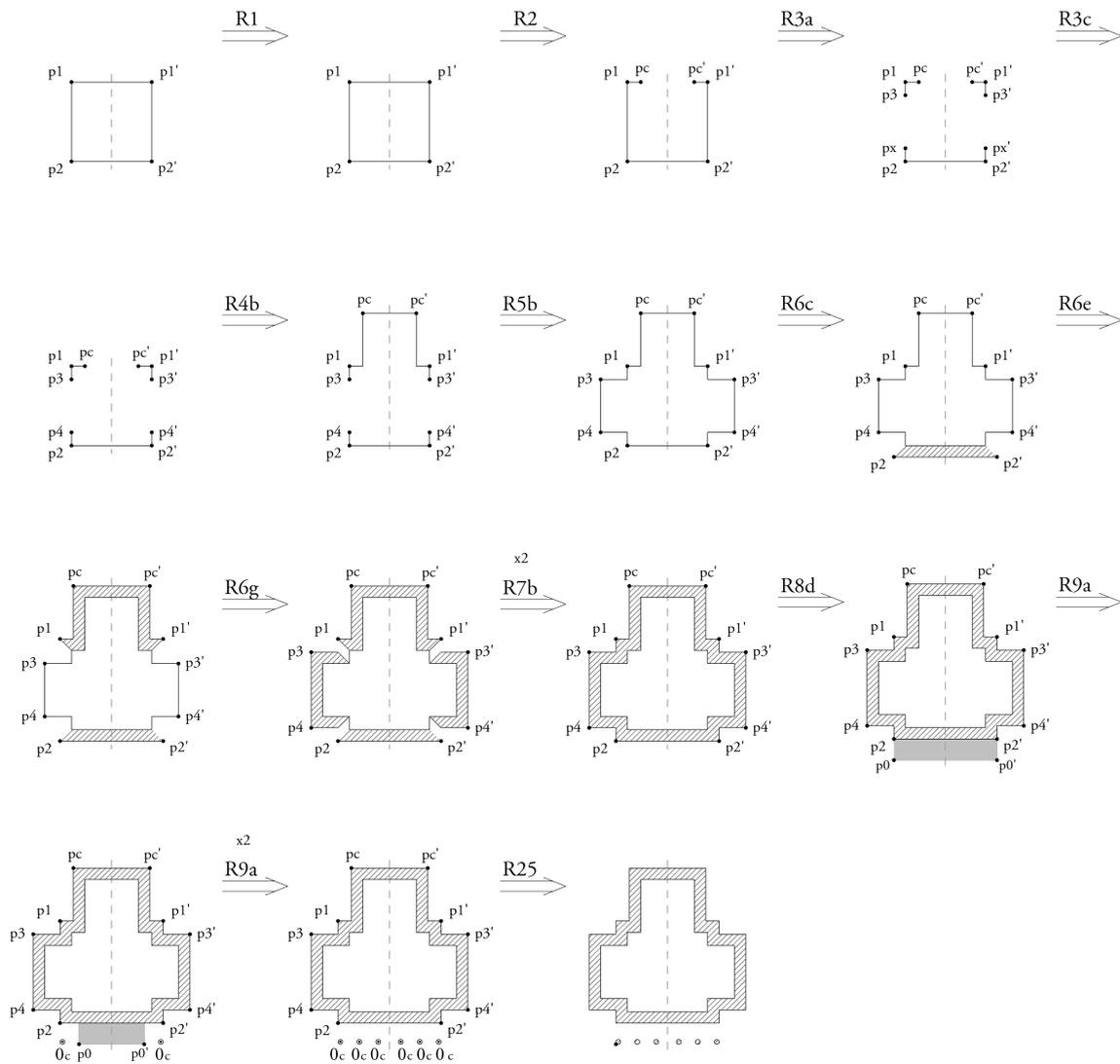


Figura 111. Derivação da solução de projeto da GF<sub>A</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma – da solução de maior afinidade com San Sebastiano. Derivação referente à gramática de vista em planta, e restrita à capacidade gerativa do *Estágio 1* ao *Estágio 3*.

A sobreposição do projeto gerado com a planta de San Sebastiano (Figura 112) revela aspectos complementares à análise sintetizada na Tabela 30. De facto, comprova-se que estes projetos são formalmente semelhantes, uma vez que ambos são compostos por uma cela quadrada rodeada por uma capela-mor e duas capelas laterais e, um pórtico solto na frontaria. Porém, divergem em diversas situações não reveladas na Tabela 30: (3) a espessura das paredes que conformam as capelas diferem da espessura das paredes da cela, numa relação não descrita no tratado; (4) a existência de um espaço contíguo à pórtico da frontaria que se abre para a cela e cujas dimensões são equivalentes às restantes capelas, ou seja, a cela é rodeada nos quatro lados por compartimentos retangulares com o mesmo delineamento, e assim, configurando uma planta central em cruz grega; (5) a largura do pórtico da frontaria não coincide com a largura da igreja; (6) e a existência de dois compartimentos que prolongam o volume do pórtico, um em cada uma das extremidades do pórtico até ao paramento exterior da parede da cela.

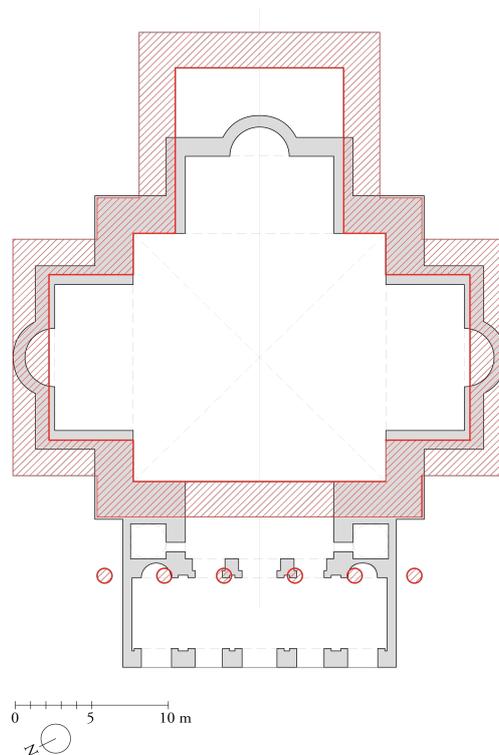


Figura 112. Sobreposição da planta de San Sebastiano na versão considerada para o nosso estudo, com planta gerada pela GF<sub>A</sub> (a vermelho).

### *Avaliação do grau de correlação da gramática com a planta de San Sebastiano*

Para a análise da correlação da GF<sub>A</sub> com a planta de San Sebastiano através de MRLS procedeu-se do modo equivalente ao descrito no âmbito da avaliação do Templo Malatestiano. Com efeito, na Tabela 31 listam-se as variáveis (dependentes) relativas a números e proporções presentes na planta de San Sebastiano e as variáveis (independentes) relativas a números e proporções presentes nas descrições da GF<sub>A</sub>.

No contexto da análise de planta de San Sebastiano e ao contrário do que sucede no gráfico de dispersão relativo à análise do T. Malatestiano, o Gráfico 2 mostra que nem todos os pontos são colineares com a reta de regressão. Contudo, uma vez que esta dispersão é mínima, verificando-se apenas uma ligeira em dispersão em variáveis de menores dimensões, prevê-se uma forte relação entre a maioria das variáveis dependentes e independentes. A variável dependente menos convergente, isto é, com maior erro de previsão, é a variável relativa à ossatura das capelas ( $w_s$ ).

De seguida, com o cálculo do coeficiente de regressão, correspondente a 99,4% ( $R = 0,994$ ) confirma-se uma forte correlação entre as variáveis em análise.

Finalmente, o coeficiente de determinação obtido é igualmente elevado, correspondendo a 98,9% ( $R^2 = 0,989$ ), sugerindo que as variáveis independentes (X) têm capacidade de explicitar as variáveis dependentes (Y).<sup>209</sup>

<sup>209</sup> O erro de precisão obtido corresponde a  $\varepsilon = 0,74895$ .

Como sumário da análise por MRLS, verifica-se que as proporções e números que configuram as partes da planta de San Sebastiano têm um forte grau de convergência com as proporções e números descritos inferidos do *De re aedificatoria* e implementados na GF<sub>A</sub>.

Tabela 31. Lista de valores inferidos do tratado (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes em San Sebastiano (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de San Sebastiano. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões de San Sebastiano para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.

I. parâmetros	II. condições	III. variável/valor*		IV. metros <i>braccias</i>		V. variável/valor*		VI. metros <i>braccias</i>	
<b>wi</b>				16,5	7,72			16,5	7,72
<b>li</b>	li = α wi	α = 1		16,5	7,72	α = 1		16,5	7,72
<b>wc</b>	wc = β wi	β = 2/3		11,00	5,15	<b>β = √1 : √3</b>		9,7	4,54
<b>lc</b>	lc = Θ wc	Θ = 1		11,00	5,15	<b>Θ = 1/2</b>		5,13	2,40
<b>wcl</b>	wcl = φ wc	φ = 1		11,00	5,15	φ = 1		9,7	4,54
<b>lcl</b>	lcl = γ wcl	γ = 1/2		5,50	2,57	γ = 1/2		5,13	2,40
<b>ws</b>	ws = φ' wcl 1/5 ≤ φ' ≤ 1/3 ∨ φ' = 1/2	φ' = 1/4		2,75	1,29	<b>φ' = 1/2√2</b>		3,4	1,59
<b>tw</b>	tw = σ we	σ = 1/9		2,36	1,10	σ = 1/9		2,5	1,17
<b>we</b>	we = (1 + 2σ) / wi			21,21	9,93			21,51	10,07
<b>i</b>	dcol = wport / (ncol (1 + δ) - 3/4 δ) δ ∈ {3/2, 2, 9/4, 3, 27/8}	δ = 3		2,93	1,37	δ = 3		2,51	1,17
<b>ic</b>	ic = 5/4 i	ic = 5/4 i		3,66	1,71	<b>ic = i</b>		2,60	1,22

\* trata-se do valor inferido do tratado que tem maior correspondência com o valor inferido no edifício.

\*\* valores a vermelho não têm correspondência com o *De re aedificatoria*

nota: a unidade de medida *braccias* é referente às *braccias mantuana.*, cuja unidade corresponde a aproximadamente 0,468 metros.

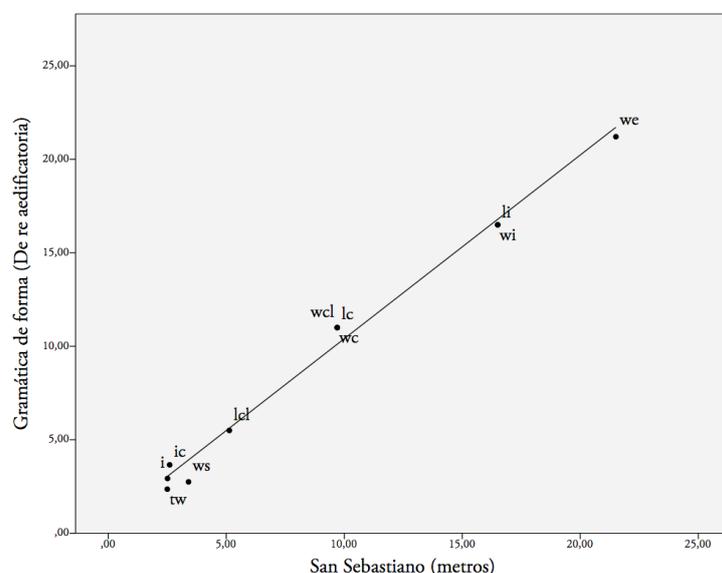


Gráfico 2. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da GF<sub>A</sub> em San Sebastiano.

### 4.3.3. Igreja de Sant'Andrea

#### *Avaliação analítica inversa da planta de Sant'Andrea*

A Figura 113 expõe graficamente as proporções implícitas á composição da planta de Sant'Andrea, designadamente as proporções da cela e capelas, a relação de proporções entre as aberturas das capelas laterais e ossaturas que as separam e, os compartimentos que se situam entre as capelas laterais.

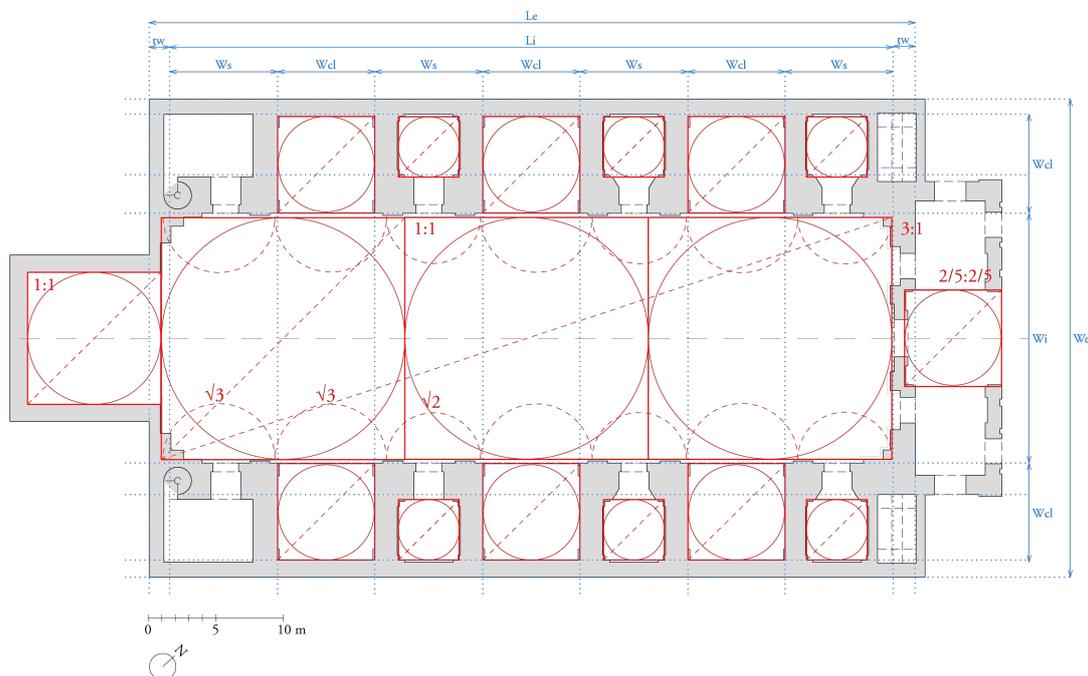


Figura 113. Análise de proporções de Sant'Andrea (planta) na versão sem transepto, conforme atribuída a Alberti. Fonte do desenho base: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).

Paralelamente, a Tabela 32 mostra as características morfológicas e proporcionais que convergem e divergem do conjunto de princípios edificatórios inferidos do *De re aedificatoria* implementados na GF<sub>A</sub>. Esta análise sugere que Sant'Andrea converge com as descrições do tratado nos seguintes aspectos: (1) na forma e proporção da cela (3:1); (2) na existência de capela-mor, de geometria retangular e com uma abertura correspondente 1:2 da largura da cela; (3) na geometria de base retangular das capelas laterais e o número capelas laterais — num total de seis, distribuídas no conjunto de três pares; (4) na espessura das paredes da cela, que verifica o *ratio* de 1:9 da largura do templo (excluindo volumes anexos à cela, como as capelas laterais), bem como a condição de corresponder ao *ratio* do diâmetro e altura das colunas do pórtico.

Por oposição, a Tabela 32 revela três aspectos em que a planta de Sant'Andrea difere das descrições do tratado: (1) a abertura das capelas laterais toma o *ratio* de 7:9 relativamente à abertura da capela-mor — um *ratio* inferior ao previsto no tratado, mesmo que numa versão hipotética da capela-mor; (2) a proporção de 1:1 no delineamento de capelas laterais retangulares; (3) o *ratio* de  $\sqrt{3} : \sqrt{2}$  existente entre as dimensões das aberturas de capelas laterais e a parede de ossatura que as separa.

Similarmente ao que se verifica na abertura da capela-mor de San Sebastiano, este último aspecto remete para a possibilidade de Alberti considerar a utilização de números inatos (ver subcapí-

tulo 3.1.4.6. *A dimensão edificatória dos números*) no dimensionamento de aberturas e ossaturas das capelas laterais.

Tabela 32. Sumário de características morfológicas e proporcionais das partes da igreja de Sant'Andrea, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria*, relativa à planta da igreja.

## PLANTA

### Cela

Proporção (Li : Wi) 1:1  $\sqrt{4}:\sqrt{3}$   $\sqrt{3}:\sqrt{2}$  4:3  $\sqrt{2}:1$  3:2  $\sqrt{3}:1$  16:9 2:1 9:4 8:3 3:1 4:1  
 li - comprimento da cela  
 wi - largura da cela

Capela-mor<sup>210</sup> Sim Não

Abertura (Wc : Wi) 1:2 2:3  
 wc - abertura da capela  
 wi - largura da cela

Geometria Retangular Circular

Proporção (Lc : Wc) 1:2 1:2  
 Lc - profundidade da capela  
 Wc - abertura da capela

Capelas laterais Sim Não

Número Ncl 2 6 10

Abertura (Wc : Wcl) 1:1 1:11/12 7:9  
 wc - abertura da capela  
 wi - largura da cela

Geometria Retangular Circular Rec/Cir Cir/Rec

Proporção (Lcl : Wcl) 1:2 1:1  
 Lcl - largura da cela  
 Wcl - abertura da capela

Ossatura (Wcl : Ws) [1:1/5, 1: 1/3] 1 : 1/2  $\sqrt{3} : \sqrt{2}$   
 Ws - largura da ossatura  
 Wcl - abertura da capela

Parede Espessura (We:Tw) 1:12 1:9 1:18  $H_w : T_w = H_{col} : D_{col} = 19:2$ <sup>211</sup>

We - largura do templo  
 Tw - espessura da parede  
 We mais capelas  
 H<sub>w</sub> - altura das paredes  
 D<sub>col</sub> - diâmetro da coluna  
 H<sub>col</sub> - altura da acoluna

x : y variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria*

x : y variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria*

<sup>210</sup> A construção de Sant' Andrea iniciou-se segundo projeto de Leon Battista Alberti, 1472, e terá sido subsequentemente ampliada no Séc. XVI (transepto e pórtico Norte, por Giulio Romano) e Séc. XVIII (tambor e cúpula, por Filippo Juvarra). Nos desenhos elaborados pelo *Olivetti/Alberti Group* (1994), plantas cortes e alçados de Sant'Andrea reconstituem princípios albertianos. O aspeto mais evidente é a existência de capela-mor semicircular no arranque do transepto. É esta composição que consideramos nesta análise.

<sup>211</sup>  $H_w : T_w = H_{col} : D_{col} = 19:2$

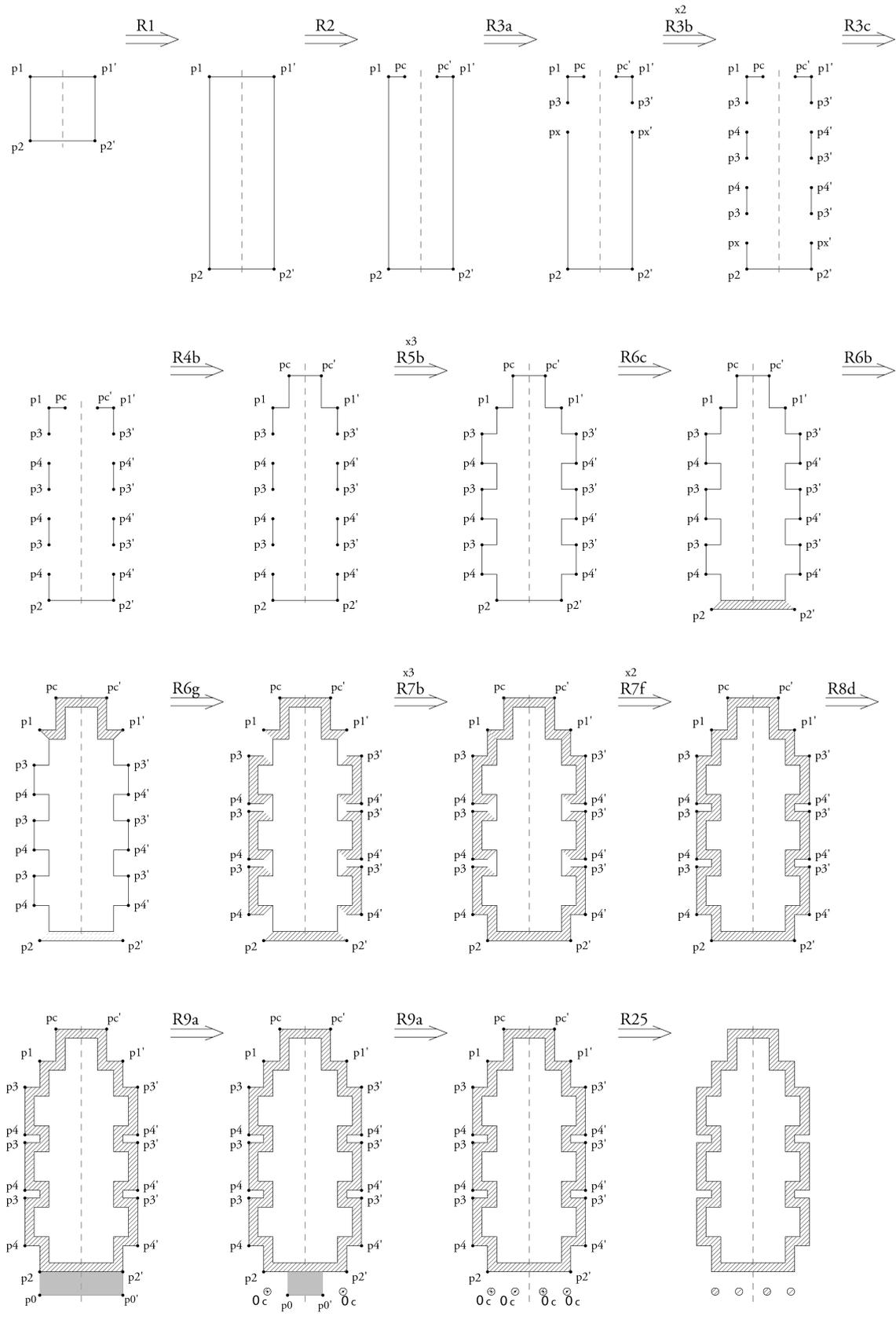


Figura 114. Derivação da solução de projeto da GF<sub>A</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma - da solução de maior afinidade com Sant'Andrea. Derivação referente à gramática de vista em planta, e restrita à capacidade gerativa do Estágio 1 ao Estágio 3.

Tal como procedido no exemplos anteriores, a derivação da solução de projeto da GF<sub>A</sub> (em planta) com maior correspondências com a planta de Sant'Andrea é ilustrada na Figura 114 .

Na coluna III da Tabela 33, estão registados os valores adotados neste processo de derivação. A sobreposição das duas plantas (ver Figura 115) explicita (visualmente) um segundo conjunto de divergências e convergências entre ambas, complementares às expostas na Tabela 32.

Globalmente, verifica-se que a composição interna de ambos os projetos se assemelha. Com efeito, ambos as plantas são compostas por uma nave central única, à qual acomodam-se três pares de capelas laterais e um pórtico solto na frontaria.

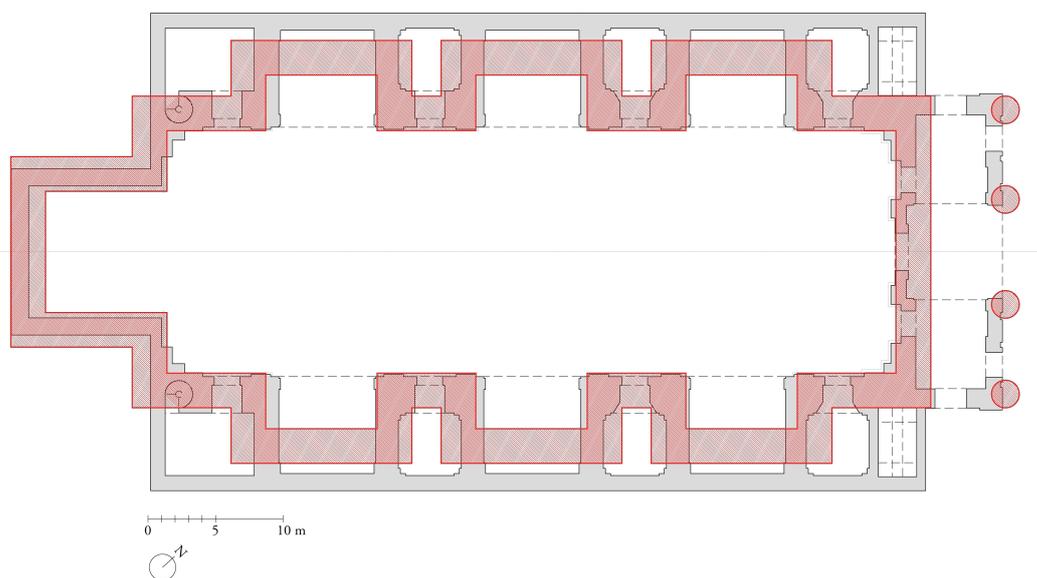


Figura 115. Sobreposição da planta de Sant'Andrea - na versão considerada para o nosso estudo, com planta gerada pela GF<sub>A</sub> (a vermelho).

Por outro lado, a Figura 115 explicita mais cinco aspetos da composição da planta de Sant'Andrea que não foram implementados na GF<sub>A</sub>, pelo que são divergentes dos princípios edificatórios expostos no *De re aedificatoria*: (4) a ligação volumétrica das paredes da frontaria e tardo às capelas laterais acrescenta compartimentos aos quatro vértices da cela; (5) a existência de compartimentos situados entre as capelas laterais com aberturas de acesso direto à cela; (6) a espessura das paredes das capelas laterais difere da espessura das paredes da cela<sup>212</sup>, numa relação similar à verificada em San Sebastiano; (7) a profundidade das capelas laterais; (8) a existência de paramentos colunas da frontaria, algo que também ocorre no pórtico de San Sebastiano.

Diversos autores referem a analogia entre a configuração do pórtico de Sant'Andrea, composto por uma passagem central e duas passagens laterais de menores dimensões e, os arcos triunfais (ver subcapítulo 4.2.3. *Igreja de Sant'Andrea*). Não obstante este facto, se tomarmos em consideração as descrições para o delineamento dos pórticos nos templos (ver 3.1.4.2. *Pórtico*), no pórtico da frontaria de Sant'Andrea, a colonata principal, composta por quatro pilastras (ver 3.1.4.3. *Sistematização*

<sup>212</sup> O *De re aedificatoria* não especifica princípios para o cálculo de paredes de compartimentos anexos à cela, tal como é o caso das capelas laterais.

da coluna), tem um intercolúnio correspondente a uma relação elegante nas passagens laterais, porém, o intercolúnio central corresponde a 1:3 do intercolúnio quando deveria corresponder a 4:5. Estes factos sugerem que Alberti “monumentaliza” a frontaria de Sant’Andrea através da adição de um pórtico que se aproxima dos princípios descritos para os arcos triunfais (VIII, 6, 12-19)<sup>213</sup>.

### Avaliação do grau de correlação da gramática com a planta de Sant’Andrea

A Tabela 33 apresenta os dados necessários à avaliação da correlação da GFA com a planta de Sant’Andrea. Na coluna III desta tabela expõem-se as variáveis (assinalando-se os respetivos parâmetros – coluna I, e condições para a sua aplicação – coluna II) inferidas do *De re aedificatoria*, com maior correspondência, ou iguais, às presentes na planta de Sant’Andrea. Da mesma forma, na coluna V, assinalam-se as variáveis detetadas na planta do edifício. Tomando em consideração a dimensão real da largura da cela ( $w_i$ ) de Sant’Andrea, calcularam-se as dimensões, em metros e *braccias*, das dimensões da solução de projeto gerada pela GFA (coluna IV). Estes valores consistem nos variáveis independentes (Y) que utilizadas na análise. Por outro lado, as dimensões dependentes (X), relativas às dimensões das partes da planta de Sant’Andrea, foram inferidas através da medição da respetiva planta.

Tabela 33. Lista de valores inferidos do tratado (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes em Sant’Andrea (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant’Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões de Sant’Andrea para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GFA.

I. parâmetros	II. condições	De re aedificatoria			Sant’Andrea		
		III. variável/valor*	IV. metros <i>braccias</i>		V. variável/valor*	VI. metros <i>braccias</i>	
<b>wi</b>			18,6	8,70		18,6	8,70
<b>li</b>	$li = \alpha wi$	$\alpha = 3$	55,8	26,11	$\alpha = 3$	54,3	25,41
<b>wc</b>	$wc = \beta wi$	$\beta = 2/3$	12,40	5,80	$\beta = 2/3$	12,1	5,66
<b>lc</b>	$lc = \theta wc$	$\theta = 1/2$	6,20	2,90	$\theta = 1/2$	6,88	3,22
<b>wcl</b>	$wcl = \varphi wc$	$\varphi = 11/12$	11,37	5,32	$\varphi = 7:9$	7,07	3,31
<b>lcl</b>	$lcl = \gamma wcl$	$\gamma = 1/2$	5,68	2,66	$\gamma = 1$	7,12	3,33
<b>ws</b>	$ws = \varphi' wcl$ $1/5 \leq \varphi' \leq 1/3 \vee \varphi' = 1/2$	$\varphi' = 3/8$	4,68	2,19	$\varphi' = \sqrt{2/\sqrt{3}}$	7,83	3,66
<b>tw</b>	$tw = \sigma we$	$\sigma = 1/9$	2,66	1,24	$\sigma = 1/9$	2,67	1,25
<b>we</b>	$we = (1 + 2\sigma) / wi$		23,91	11,19		23,66	11,07
<b>i</b>	$dcol = wport / (ncol (1 + \delta) - 3/4 \delta)$ $\delta \in \{3/2, 2, 9/4, 3, 27/8\}$	$\delta = 9/4$	4,76	2,23	$\delta = 9/4$	3,31	1,55
<b>ic</b>	$ic = 5/4 i$	$ic = 5/4 i$	5,94	2,78	$ic = 3 i$	9,98	4,67

\* trata-se do valor inferido do tratado que tem maior correspondência com o valor inferido no edifício.

\*\* valores a vermelho não têm correspondência com o *De re aedificatoria*

nota: a unidade de medida *braccias* é referente às *braccias mantuana.*, cuja unidade corresponde a aproximadamente 0,468 metros.

<sup>213</sup> “(...)os arcos constam apenas de quatro pilares, três aberturas, e não mais.” (VIII, 6, 13)

Após a compilação do conjunto de variáveis dependentes e independentes, recorreu-se ao programa SPSS para a geração do gráfico de dispersão, expondo a reta de regressão (Gráfico 3) que representativa da relação entre os dois conjuntos de variáveis. O Gráfico 3 identifica os parâmetros/variáveis em análise, e a sua posição relativa à reta de regressão.

Genericamente, verifica-se que o conjunto de pontos não apresenta uma grande dispersão relativamente à reta, prevendo-se uma forte correlação entre a generalidade das variáveis dependentes e independentes. A variável dependente menos convergente, isto é, com maior erro de previsão, é a variável relativa à abertura das capelas laterais ( $w_d$ ).

O coeficiente de regressão obtido é de 99,0% ( $R = 0,990$ ), sugerindo uma forte correlação entre as variáveis. O coeficiente de determinação é igualmente elevado, correspondendo a 97,9% ( $R^2 = 0,979$ ), sugerindo que as variáveis independentes (X) têm capacidade de explicitar as variáveis independentes (Y).<sup>214</sup>

Em síntese, através da análise do MRLS, poder-se-á sugerir que as proporções e números que configuram as partes da planta de Sant'Andrea têm um forte grau de convergência com as proporções e números descritos inferidos do *De re aedificatoria* e implementados na GF<sub>A</sub>.

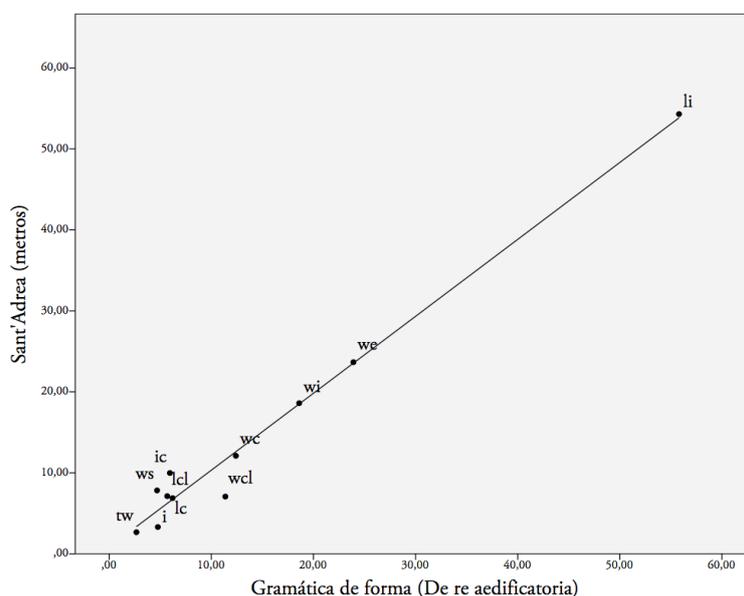


Gráfico 3. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da GF<sub>A</sub> em Sant'Andrea.

<sup>214</sup> O erro de precisão obtido corresponde a  $\varepsilon = 2,25070$ .

#### 4.4. Transformação gramatical: uma gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti

De acordo com Knight (1983a) é possível esclarecer a transformação de uma linguagem de projeto, numa linguagem subsequente, pelo ajuste de uma primeira GF que ocasiona uma segunda GF<sup>215</sup>. Tendo em consideração os objetivos da nossa investigação, pretende-se transformar e expandir a GF<sub>A</sub>, relativa ao conhecimento do *De re aedificatoria*, pela introdução de princípios arquitetônicos identificados no *corpus* edifícios sagrados projetados por Alberti, que não foram descritos, ou são contraditórios, aos enunciados no tratado.

No processo de análise inversa da GF<sub>A</sub>, descrito no capítulo anterior, identificaram-se aspectos divergentes entre esta gramática, incluindo o seu universo de soluções, e as obras de Alberti em estudo. Essa análise, permitiu especificar um conjunto de características morfológicas e proporcionais presentes nos edifícios que não constam das relações espaciais desenvolvidas nas regras de forma, dos respetivos parâmetros e condições da sua aplicação. Neste subcapítulo expõe-se a transformação da GF<sub>A</sub> com o objetivo de obter uma GF que concatene os princípios edificatórios do tratado e dos edifícios de Alberti, informando de modo abrangente, o pensamento arquitetônico albertiano. Por este motivo, o processo de transformação da GF<sub>A</sub> não implica a subtração de regras de forma, mas apenas a adição e adaptação de regras existentes<sup>216</sup>.

Similarmente à metodologia adotada na inferência de regras de forma da GF<sub>A</sub>, para a sistematização do conhecimento implícito aos edifícios de Alberti seguiram-se as seguintes fases de trabalho: (1) análise das plantas dos edifícios sagrados mais representativos na obra de Alberti, com o intuito de identificar características morfológicas e proporcionais que não estão codificadas no tratado da gramática; (2) subsequentemente sintetizar essa informação em esquemas paramétricos; (3) introduzir o conhecimento codificado nos esquemas paramétricos na gramática de forma, pela mudança de regras existentes, ou ainda, pela adição de novas regras; (3) determinar a relação entre essas regras e a estrutura recursiva da gramática inicial, bem como verificar a capacidade desta gramática gerar os projetos de Alberti.

O Anexo VI. *Gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti* apresenta a transformação de uma gramática de forma inicial, dedicada à geração da planta de edifícios sagrados (retangulares) inferida do tratado de Alberti, em gramáticas de forma subsequentes que têm em consideração a obra construída de Alberti. Neste sentido, apresentam-se

---

<sup>215</sup> A transformação de uma linguagem noutra linguagem pode ser explicitada pelas mudanças aplicadas à gramática subjacente à primeira linguagem, de modo a inferir-se uma segunda gramática representativa da evolução da linguagem.

<sup>216</sup> Como explicitado em 3.4.3. *Gramáticas de forma e linguagem de projeto* A transformação de gramáticas analíticas, para caracterizar a evolução de uma linguagem de projeto, Knight (1994) propõe as seguintes operações para a transformação de uma GF analítica: (1) a mudança de regras; (2) a adição de regras; (3) a supressão de regras. (3) A mudança de regras ocorre pela alteração (a) de componentes não espaciais - rótulos de estado, e (b) componentes espaciais - marcadores, ou ainda, pela (c) alteração de relações espaciais propostas na regra.

as transformações ocorridas pela introdução de princípios edificatórios inferidos do T. Malatestiano, da igreja de San Sebastiano e da igreja de Sant'Andrea, formulando três gramáticas de forma subsequentes. Finalmente, apresenta-se a gramática resultante do processo de transformação, a qual denominamos através do acrónimo GF<sub>AE</sub>.

#### 4.4.1. Templo Malatestiano

A análise comparativa das proporções e morfologias descritas no *De re aedificatoria* com as deduzidas da planta do T. Malatestiano realizadas no subcapítulo 4.3.1. *Templo Malatestiano* revelaram diversas divergências entre o texto e o projeto. Essas divergências motivaram a transformação da GF<sub>A</sub> pela introdução de quatro mudanças de regras de forma.

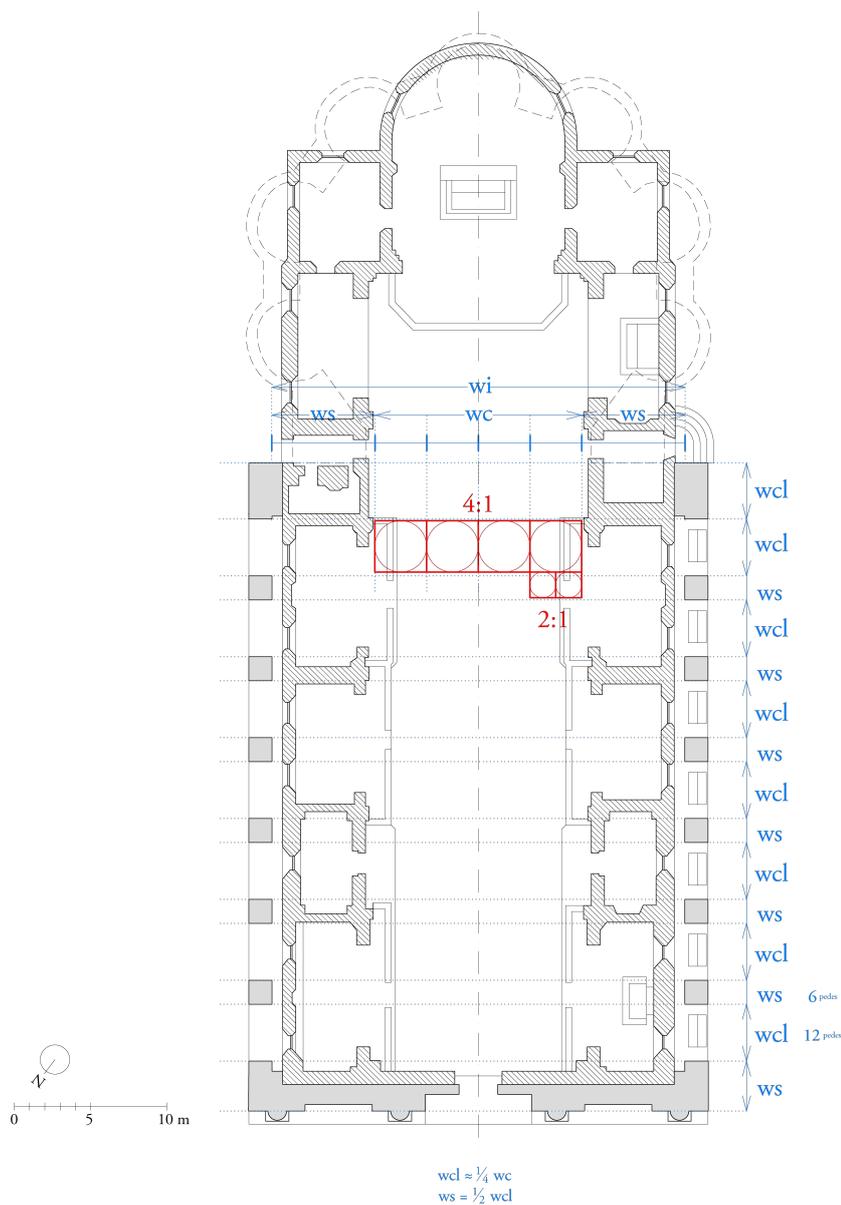


Figura 116. Planta do Templo Malatestiano com estudo de relação proporcional da abertura das capelas com a ossatura das paredes.  
 Fonte da planta do base do T. Malatestiano: (Tavernor R., 1998, p. 56 e 72).

Conforme explicitado de seguida, estas mudanças de regra partilham a mesma natureza, isto é, todas são originárias em divergências de proporções e todas implicam a adição de proporções a conjuntos de valores que o utilizador da gramática pode selecionar na aplicação das respetivas regras de forma. Segue-se a descrição das mudanças de regras efetuadas no âmbito do templo Malatestiano.

(1) *Regras 3. Abertura capelas laterais: mudança de regra (nova proporção)*

De acordo com o referido no subcapítulo anterior, e conforme pretende-se ilustrar na Figura 116, se equiparadas as arcadas das fachadas laterais do T. Malatestiano a sequências de aberturas de capelas laterais<sup>217</sup> ( $w_{cl}$ ), o *ratio* destas aberturas ( $\varphi$ ) correspondem a  $\approx 1:4$  da abertura de uma hipotética capela-mor<sup>218</sup> ( $w_{cl} = \varphi w_c$ ), não verificando os *rationes* propostos no tratado ( $\varphi \in \{11/12, 1\}$ ). Posto isto, considera-se a adição de uma nova proporção ( $\varphi = 1/4$ ) à regra *Regras 3. Abertura capelas laterais*, alterando as condições da regra de forma para:  $w_{cl} = \varphi w_c$ ;  $\varphi \in \{1/4, 11/12, 1\}$ .

(2) *Regras 6. Adição de espessura às paredes da cela: mudança de regras (nova proporção)*

A espessura das paredes laterais da intervenção de Alberti no T. Malatestiano correspondem a 1:20 da largura do templo<sup>219</sup> (Figura 117), divergindo dos *rationes* de 1:12 e 1:9 prescritos no tratado. Por este motivo, adiciona-se a relação de 1:20 ao conjunto de *rationes* iniciais que a variável  $\sigma$  pode adotar. Em suma, propõe-se que  $\sigma \in \{1/20, 1/12, 1/9\}$ .

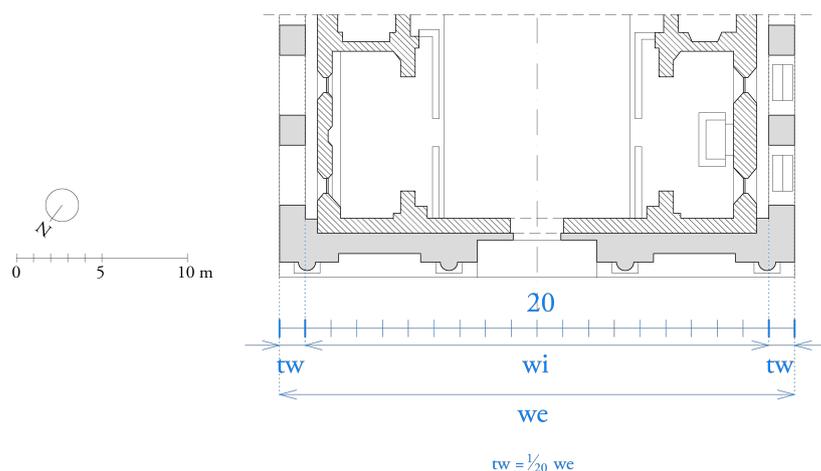


Figura 117. Planta do Templo Malatestiano com análise de proporções da espessura das paredes da cela. Fonte da planta do base do T. Malatestiano: (Tavernor R., 1998, p. 56 e 72).

<sup>217</sup> Ainda que as arcadas das fachadas laterais do T. Malatestiano não correspondam a aberturas para capelas laterais, a sua disposição e quantidade permitem estabelecer uma analogia com eventuais aberturas de capelas laterais. Por este motivo, esta análise considera-as para a inferência de relações espaciais originais da obra construída albertiana.

<sup>218</sup> Em que  $w_c = \beta w_i$ , e  $\beta \in \{2/4, 4/6\}$ .

<sup>219</sup> Apesar da relação entre a largura da nave no paramento exterior e a espessura das paredes laterais do templo ser de 1:20, a espessura da parede da frontaria corresponde a 1:12. Esta última relação proporcional verifica as descrições do *De re aedificatoria*.

(3) *Regras 9. Distribuição de colunas: mudança de regra (nova proporção)*

Conforme ilustrado na Figura 118 o intercolúnio (i) do pórtico do T. Malatestiano mede 7 diâmetros da coluna. Com efeito, como esta relação não está contemplada no *De re aedificatoria*, adiciona-se esta proporção ao conjunto de valores que a variável para o cálculo do intercolúnio pode adotar, resultando nas seguintes condições:  $i = \delta \text{ dcol}$ ;  $\delta \in \{3/2, 2, 9/4, 3, 27/8, \underline{7}\}$ .

Por oposição, o intercolúnio central corresponde a  $9/7$  do intercolúnio, o que consiste num valor próximo do previsto no tratado ( $i_c = 9/7 i \approx 5/4 i$ ) justificando a não introdução de uma mudança desta condição.

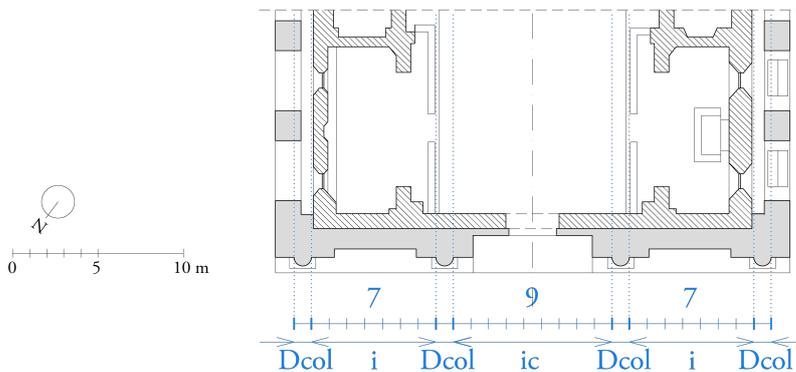


Figura 118. Planta do Templo Malatestiano com análise de proporções do pórtico, nomeadamente, das colunas e intercolúnios. Fonte da planta do base do T. Malatestiano: (Tavernor R. , 1998, p. 56 e 72).

#### 4.4.2. Igreja de San Sebastiano

Considera-se que a planta de San Sebastiano corresponde à planta de um edifício sagrado retangular (com um ratio de 1:1), conforme descrito no *De re aedificatoria*. Contudo, o corpo saliente junto da frontaria — um vestíbulo que antecede a cela, em conjunto com a cela, capela-mor e as capelas laterais, configuram um planta central em cruz grega. Dada esta particularidade, as transformações operadas na  $GF_A$  que tomam em consideração a existência de um vestíbulo contíguo à cela e junto da frontaria são restritas à condição da cela ter a proporção de 1:1 e conformando uma planta central.

No subcapítulo 4.3.2. *Igreja de San Sebastiano* enunciaram-se seis divergências entre a planta a igreja e os princípios edificatórios traduzidos do *De re aedificatoria* para a  $GF_A$ . Estas divergências ocasionaram dois tipos operações de transformação da gramática, num total de nove transformações: (a) cinco mudanças de regras; (b) quatro adições de novas regras.

Das cinco mudanças de regras, quatro delas consistem na introdução de proporções identificadas em San Sebastiano em conjuntos de proporções que o utilizador da gramática pode utilizar no processo de derivação de soluções.

(1) *Regra 2. Abertura da capela-mor: mudança de regra (nova proporção)*

Na  $GF_A$  a abertura da capela-mor ( $w_c$ ) é um parâmetro dependente da largura da cela ( $w_i$ ), em San Sebastiano, essa abertura corresponde a um *ratio* de  $1:\sqrt{3}$  (ver Figura 110). Por este motivo, acrescentou-se esta proporção ao conjunto de valores que a variável para cálculo da abertura da capela pode tomar (o conjunto  $\beta$ ), resultando nas seguintes condições para a aplicação da *Regra 2*:  $w_c = \beta w_i$ ;  $\beta \in \{2/4, 4/6, 1/\sqrt{3}\}$ .

(2) *Regra 2'. Abertura de vestibulo junto da frontaria: mudança de regra (novos marcadores)*

A *Regra 2* da  $GF_A$  prevê a abertura da capela-mor junto da linha do tardoz. Pela adição da *Regra 2'* (Figura 119), estabelece-se a mesma relação espacial, mas, junto da linha da frontaria. A *Regra 2'* corresponde a uma mudança da *Regra 2* pela introdução de novos marcadores: na forma do lado esquerdo da regra substitui-se  $p_1$  e  $p_1'$  por  $p_2$  e  $p_2'$  - os marcadores referentes à linha máxima da frontaria; no lado direito da regra, substitui-se  $p_c$  e  $p_c'$  por  $p_{cf}$  e  $p_{cf}'$  - os pontos de abertura do vestibulo na linha da frontaria. As condições para a aplicação da *Regra 2'* diferem apenas no facto de esta só poder aplicar-se se a cela tiver a proporção 1:1, isto é:  $w_{cf} = w_c \rightarrow w_i = l_i$ .



Figura 119. *Regra 2'. Abertura de vestibulo junto da frontaria*

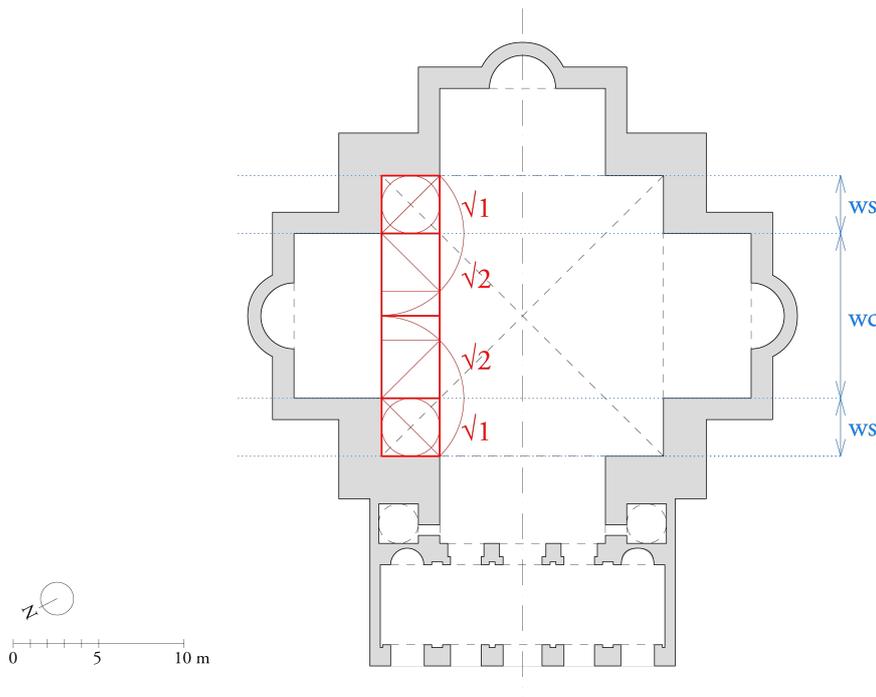


Figura 120. Planta de San Sebastiano, estudo de relação proporcional da abertura das capelas com a ossatura das paredes. Fonte da planta base de *San Sebastiano* (Tavernor R., 1998, p. 137).

(3) *Regras 3. Abertura de capelas laterais: mudança de regra (nova proporção)*

O *ratio* entre a dimensão da ossatura das paredes laterais ( $w_s$ ) de San Sebastiano (ver Figura 120) e a abertura das capelas ( $w_d$ ), introduz uma nova proporção ( $1: 2\sqrt{2}$ ) ao intervalo de valores previstos na *Regra 3. Abertura de capelas laterais* da GF<sub>A</sub>. Se considerar-se que esta proporção é restrita a templos de planta 1:1, pela transformação da *Regra 3* para o cálculo da ossatura ( $w_s$ ), esta regra passa a constar das seguintes condições:  $w_s = \varphi' w_d$  ;  $1/5 \leq \varphi' \leq 1/3 \vee \varphi' = 1/2 \vee \varphi' = \sqrt{1:2\sqrt{2}} \rightarrow w_i = l_i$

(4) *Regra 5c. Delineamento de vestibulo junto da frontaria: adição de regra (nova relação espacial)*

Para finalização do estágio de composição do espaço interno de San Sebastiano é necessária a adição de uma regra de delineamento do vestibulo retangular junto da frontaria. A esta regra denomina-se de *Regra 5c. Delineamento de vestibulo junto da frontaria*. As suas condições de aplicação são simples, a largura do vestibulo tem o dobro da profundidade, isto é:  $l_{cf} = 1/2 w_{cf}$ .

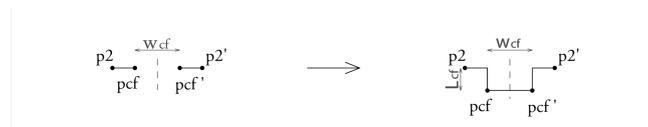


Figura 121. *Regra 5c. Delineamento de vestibulo junto da frontaria*

(5) *Regras 6. Adição da espessura das paredes da cela e capelas: mudança de regras (nova proporção)*

A planta de San Sebastiano introduz uma novidade no âmbito dos parâmetros que definem a espessura das paredes. A espessura das paredes do perímetro externo das capelas difere da espessura das paredes do corpo da cela, numa relação de 1:2. A GF<sub>A</sub> e o *De re aedificatoria* não distinguem a espessura das paredes do corpo principal e corpos secundários dos templos, pelo que, na GF<sub>A</sub> considerou-se apenas uma espessura de paredes global.

Posto isto, propõe-se a mudança do conjunto de *Regras 6. Adição da espessura das paredes da cela e capelas* que contemplam a adição de paredes de capelas (as *Regras 6b, 6c, 6f, 6g e 6h*) pela adição de um parâmetro específico à espessura das paredes das capelas ( $t_{wc}$ ) e a introdução de condições representativas do universo de valores que a variável da espessura das paredes das capelas laterais ( $\sigma'$ ) pode tomar. Em síntese, às condições existentes nas *Regras 6* adiciona-se:  $t_{wc} = \sigma' t_w \wedge \sigma' \in \{1/2, 1\}$ .

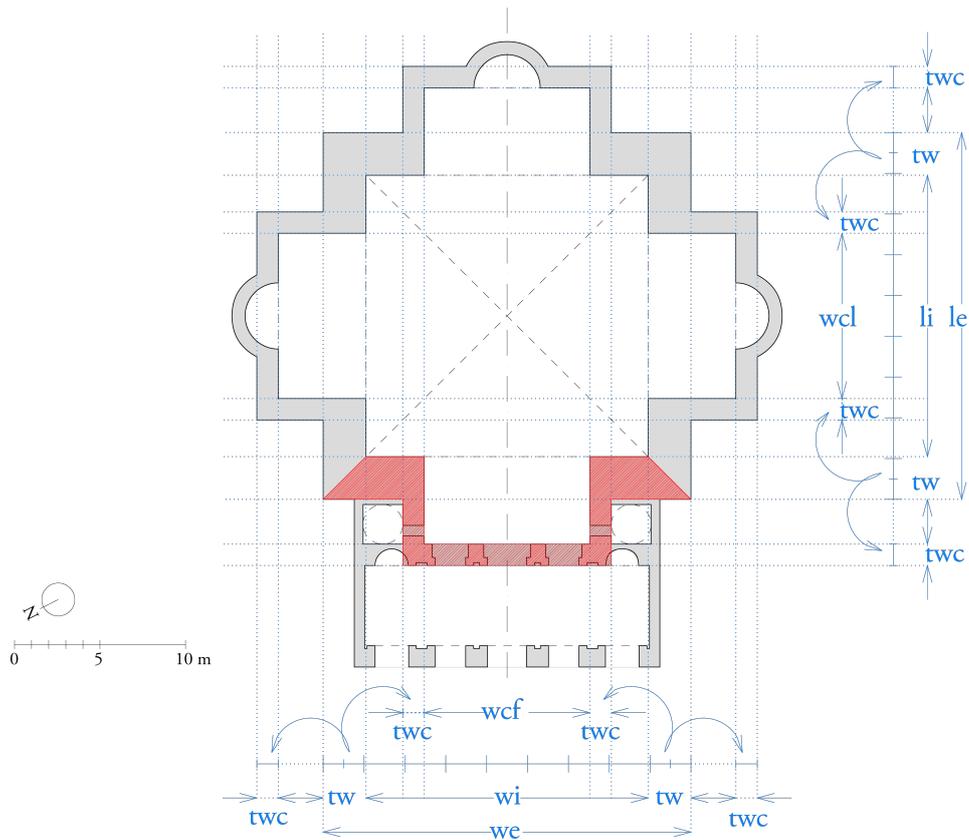


Figura 122. Planta de San Sebastiano com análise de proporções da espessura das paredes da cela e capelas, bem como, adição de corpo relativo a vestíbulo junto da frontaria. Fonte da planta base de *San Sebastiano* (Tavernor R. , 1998, p. 137).

(6) *Regra 6d'. Frontaria com vestíbulo retangular: adição de regra (nova relação espacial)*

Ainda no contexto do conjunto de *Regras 6* adiciona-se uma nova regra de forma para o delineamento das paredes da frontaria com vestíbulo anexo – a *Regra 6d'. Frontaria com vestíbulo retangular*. Esta regra partilha as mesmas condições de aplicação que as restantes *Regras 6*, inclusive, a espessura das paredes salientes do vestíbulo seguem a espessura das capelas.

Trata-se de uma nova relação espacial uma vez que a  $GF_A$  não prevê a existência de um corpo saliente, e portanto, também não prevê a adição do volume de paredes a esse corpo. Esta regra de forma prevê a adição de paredes ao perímetro do vestíbulo e parede da frontaria. As condições para o cálculo da espessura das paredes, tanto para a parede da frontaria ( $t_w$ ) como para o vestíbulo ( $t_{wc}$ ) foram discriminadas no item em análise no ponto anterior.



Figura 123. *Regra 6b. Delineamento das paredes do vestíbulo retangular junto da frontaria.*

(7) *Regra 7b'''*. *Ligação entre o vestíbulo, a frontaria e pórtico: adição de regra (nova relação espacial)*

Na Figura 124 assinala-se o acondicionamento de dois compartimentos (simétricos) anexos ao vestíbulo de entrada e pórtico de San Sebastiano. A sua disposição prolonga o volume do pórtico até ao paramento exterior da parede da cela. A relação espacial que estabelecem é inédita no cânone albertiano<sup>220</sup>, por este motivo, considerou-se a adição de uma regra ao conjunto de *Regras 7. Ligação de paredes das capelas e da cela*, tendo-se denominado de *Regra 7b'''*. *Ligação entre o vestíbulo, a frontaria e pórtico* (Figura 125).

Importa referir que a distância entre as extremidades dos paramentos exteriores destes compartimentos ( $w_e'$ ) é inferior à largura exterior da cela ( $w_e$ ) na razão de 10:12 ( $w_e' = 10/12 w_e$ ), pelo que estes compartimentos, associados ao vestíbulo de entrada e pórtico perfazem um volume saliente do corpo da igreja.<sup>221</sup> Os restantes parâmetros e condições que operam a regra *Regra 7b'''* foram inferidos de análises representadas na Figura 122 e Figura 124 e estão descritos no *Anexo VI. Gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti*.

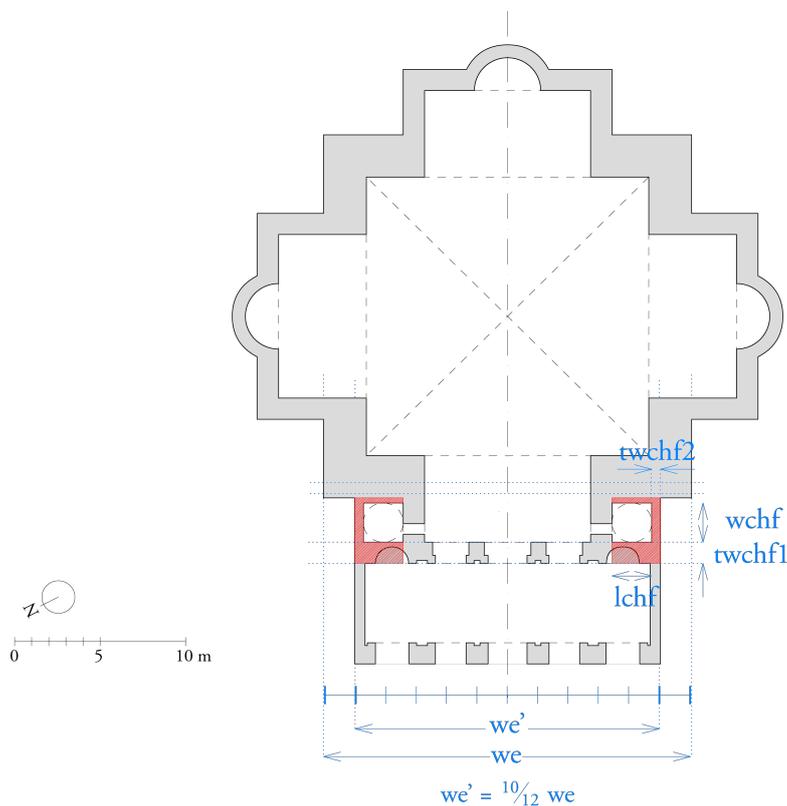


Figura 124. Planta de San Sebastiano onde assinala-se a vermelho os compartimentos anexos ao vestíbulo de entrada e pórtico. Estes compartimentos dão continuidade ao volume do pórtico até à parede limite da cela. Fonte da planta base de *San Sebastiano* (Tavernor R. , 1998, p. 137).

<sup>220</sup> Trata-se de uma resolução que poderá ter sido realizada após definição do projeto por parte de Alberti. A ilustração de Antonio Labacco mostra a planta de São Sebastião sem considerar estes espaços.

<sup>221</sup> Houve necessidade de considerar um novo parâmetro relativo à largura desta parede ( $w_e'$ ). Em certa medida, trata-se de uma “falsa” frontaria.



Figura 125. Regra 7b<sup>'''</sup>. Ligação de paredes entre vestibulo e frontaria



Figura 126. Regra 8d'. Localização do pórtico: Solto da frontaria com vestibulo saliente

(8) Regra 8d'. Solto da frontaria com vestibulo saliente: adição de regra (nova relação espacial)

Como referido no subcapítulo anterior, contrariando as descrições do *De re aedificatoria*, a largura do pórtico da frontaria de San Sebastiano não coincide com a largura da igreja, mas com a largura do corpo saliente nessa fachada ( $w_e'$ ). A Regra 8d' integra esta relação na nova GF<sub>AE</sub> através de uma condição define que a largura do pórtico ( $w_{port}$ ) corresponde a  $w_e'$  (Figura 126). Exceptuando esta condição e, os marcadores de referência, a Regra 8d' opera de modo similar à Regra 8d herdada da GF<sub>A</sub>.

(9) Regras 9. Distribuição de colunas: mudança de regra (novas proporções)

A Figura 127 ilustra a análise das dimensões das partes do pórtico da frontaria do pórtico de San Sebastiano.<sup>222</sup> Em conformidade com o exposto por Wittkower (1962, p. 49), esta análise considera que o pórtico é composto por uma colunata de 6 colunas ( $n_{col} = 6$ ), ainda que apenas existam 4 colunas adossadas à parede da frontaria. O pórtico de San Sebastiano introduz duas proporções não contempladas no tratado.

(1) O intercolúnio central ( $i_c$ ) é igual ao intercolúnio ( $i$ ) – ambos correspondem a  $3 d_{col}$ , deste modo, no contexto das condições descritas para as Regras 9. Distribuição de colunas, propõe-se a adição de uma variável ( $\delta'$ ) que possibilite a escolha desta proporção, ou da prevista do tratado na aplicação. Estas condições podem ser expressas do seguinte modo:  $i_c = \delta' i$ ;  $\delta' \in \{1, 5/4\}$ .

(2) A segunda nova proporção é relativa à distância existente entre a colunata e a parede junto do templo. No tratado, Alberti refere que esta dimensão deve igualar o intercolúnio, em San Sebastiano, esta dimensão corresponde exatamente ao dobro do intercolúnio ( $6 d_{col}$ ). Por este motivo introduz-se a seguinte condição:  $i' = \delta'' i$ ;  $\delta'' \in \{1, 2\}$ .

<sup>222</sup> O Anexo V. Análise da obra edificada de Alberti apresenta análises do pórtico, na sua representação em alçado.

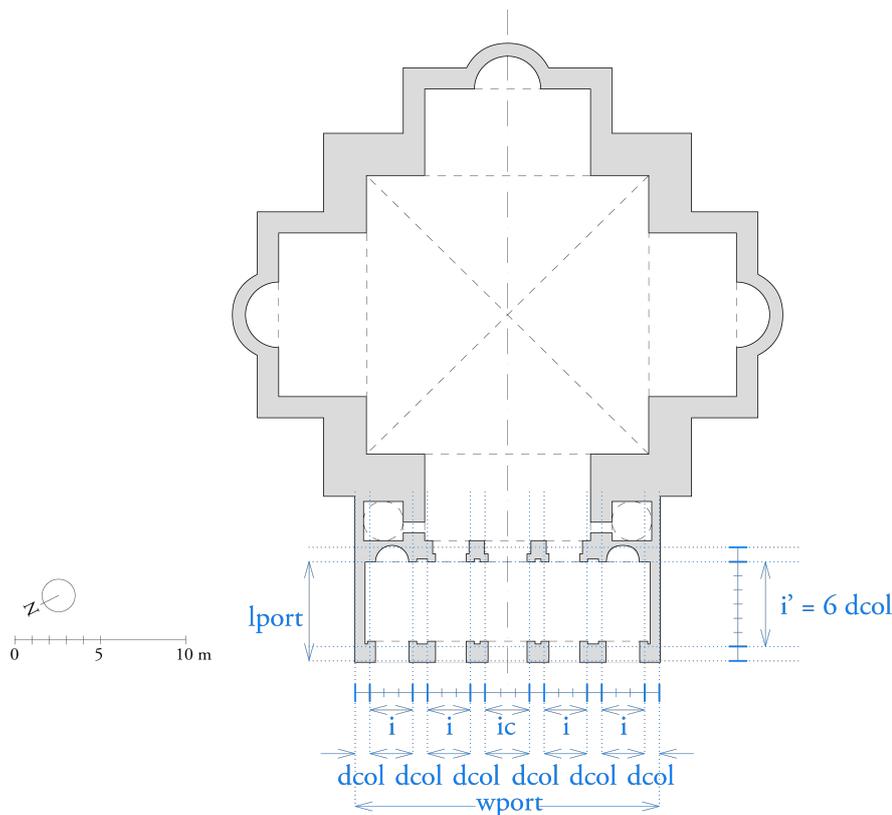


Figura 127. Planta de San Sebastiano com análise de proporções do pórtico, nomeadamente, as colunas e intercolúnios. Fonte da planta base de *San Sebastiano*: (Tavernor R., 1998, p. 137).

#### 4.4.3. Igreja de Sant'Andrea

##### (1) *Regras 3. Abertura de capelas laterais: mudança de regra (nova proporção)*

As paredes de ossatura que separam as aberturas das capelas laterais ( $w_s$ ) acolhem duas pilastras (emparelhadas), uma em cada uma das suas extremidades (ver Figura 128). De acordo com levantamento efetuado por Tavernor (1985, p. 215), estas pilastras distam entre si 8 *braccias*, e têm a largura de 3 *braccias*, pelo que a largura da ossatura corresponderá a 14 (3+8+3) *Braccias*. Acresce que a distância entre estas pilastras e as pilastras situadas do lado oposto da abertura da capela, isto é, entre ossaturas, mede 17 1/3 *braccias*. Se considerar-se que esta última dimensão corresponde à abertura das capelas laterais ( $w_d$ ), o *ratio* entre a ossatura e a abertura das capelas laterais é de 14:17 1/3, uma proporção correspondente ao *ratio* de  $\sqrt{2}:\sqrt{3}$ <sup>223</sup>.

Como esta proporção não é prescrita no tratado, propõe-se a mudança da regra *Regras 3. Abertura de capelas laterais* pela adição desta proporção ao conjunto proporções e condições constantes na  $GF_A$  para a variável que regula o *ratio* da ossatura e abertura das capelas laterais ( $\varphi'$ ). No anexo *Anexo VI* apresenta-se a totalidade das condições que passam a ter efeito sobre esta regra.

No contexto desta mudança de regra interessa referir que  $\sqrt{2}:\sqrt{3}$  pertence ao conjunto de proporções inatas inferidas do cubo unitário, referidas por Alberti no Livro IX (6, 7), destinadas ao delineamento da área dos edifícios. Este facto pode sugerir que Alberti terá considerado o uso de

<sup>223</sup> A este propósito ver: (Krüger M. J., 2011).

proporções inatas para o delineamento de outras partes dos templos. Inclusive, seria interessante averiguar a possibilidade de Alberti tomar estas proporções como sistemas universais no contexto da edificação. A subsequente inclusão de tais correspondências no conjunto de condições da *Regra 3*, resulta em:

$$w_{cl} = \varphi w_c$$

$$\varphi \in \{1/4, 11/12, 1\}$$

$$w_s = (l_i - n_{cl} w_{cl}) / (n_{cl} + 1) \wedge w_s = \varphi' w_{cl}$$

$$1/5 \leq \varphi' \leq 1/3 \vee \varphi' \in \{1/2, \sqrt{3}/\sqrt{4}, \sqrt{2}/\sqrt{3}, \sqrt{1}/\sqrt{2}, \sqrt{1}/\sqrt{3}\} \vee \varphi' = \sqrt{1} : 2\sqrt{2} \rightarrow w_i = l_i$$

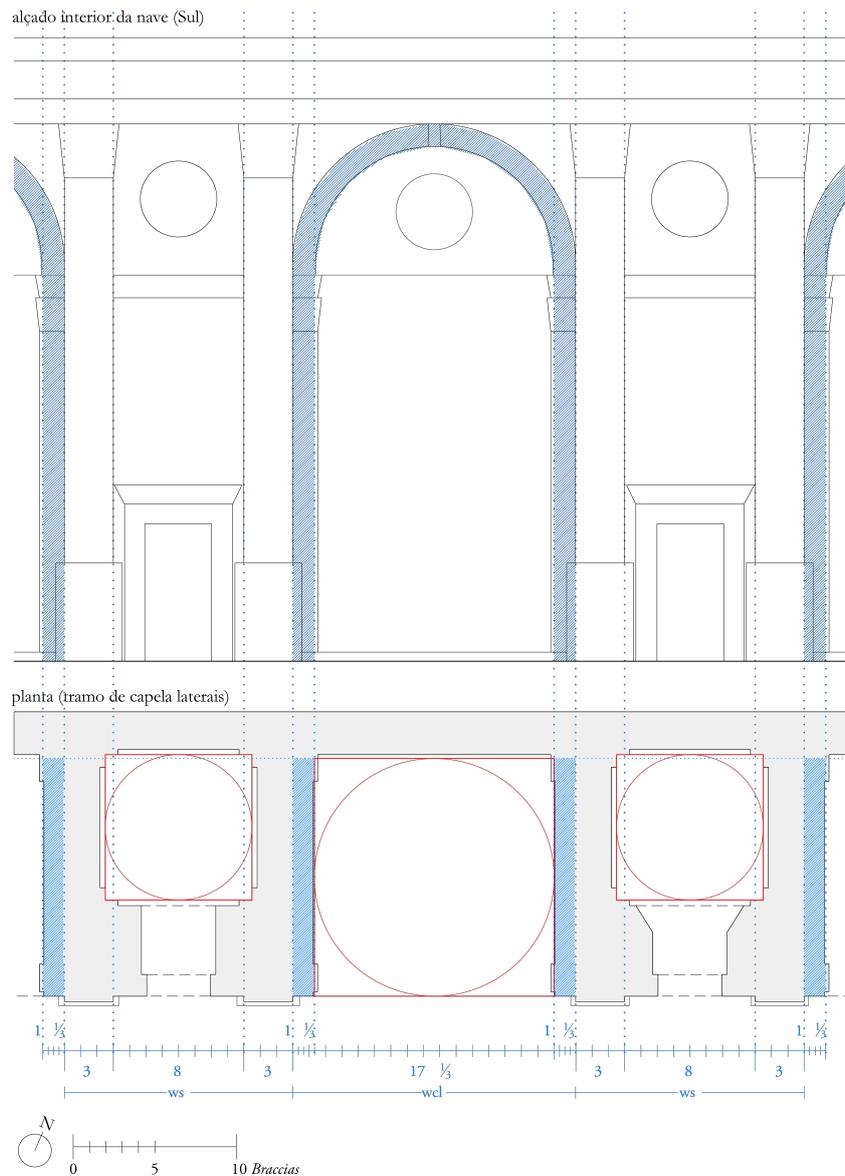


Figura 128. Ilustração das proporções presentes no delineamento das capelas laterais, ossaturas e antecâmaras situadas entre as capelas laterais de Sant'Andrea. Representação em vista parcial de alçado interior (Sul) e extrato da planta de Sant'Andrea focando-se num tramo representativo das capelas laterais e compartimentos contíguos. Fonte da planta base de Sant'Andrea: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).

(2) *Regras 5. Delineamento de capelas laterais: mudança de regra (nova proporção)*

A planta das capelas laterais de Sant'Andrea têm uma proporção de 1:1 (ver Figura 128). No *De re aedificatoria*, Alberti considera apenas o ratio de 1:2 entre a profundidade ( $l_{cl}$ ) e largura ( $w_{cl}$ ) das capelas laterais. A originalidade da proporção inferida de Sant'Andrea motiva a mudança das *Regras 5. Delineamento de capelas laterais* pela adição da proporção inferida de Sant'Andrea. Algorítmicamente, a regra de forma passa a ser informada por condições que abrangem as duas possibilidades, isto é:  $l_{cl} = \gamma w_{cl}; \gamma \in \{1/2, \underline{1}\}$ .

(3) *Regras 7b' e b'". ligação de capelas laterais e o tardo e, a frontaria: adição de regras (novas relações espaciais)*

Na proposta de Alberti para Sant'Andrea, tal como a consideramos para esta investigação, os espaços existentes entre a fila de capelas laterais e as extremidades da igreja, no frontispício e no tardo, estão conectados por um compartimento, que se liga à cela, e que conforma uma planta retangular, que inclui a cela e as capelas laterais. Esta relação espacial não foi considerada na  $GF_A$  porque não está descrita no *De re aedificatoria*.

Na adição de uma única capela por fachada, tal como acontece na igreja de San Sebastiano, a relação espacial existente entre as capelas laterais e as paredes da cela é relativamente evidente<sup>224</sup>. Mas, em situações em que diversas capelas laterais são adicionadas à mesma fachada, podem ser adotadas várias configurações espaciais.

A Figura 129 ilustra a inferência de proporções inerentes ao delineamento dos compartimentos de ligação do tardo e frontaria de Sant'Andrea às capelas laterais mais próximas destas extremidades. O processo de transformação da  $GF_A$ , por influxo de Sant'Andrea, contempla a adição de regras que permitem o delineamento destes compartimentos. Estas regras passam a integrar o conjunto de *Regras 7*, cujo objetivo é concluir o delineamento da totalidade das paredes dos templos, pelo estabelecimento de ligações entre as paredes da cela e volumes anexos.

Com efeito, considerou-se a adição da *Regra 7b'*. *Ligação de capela retangular ao tardo* (Figura 130) e da regra *Regra 7b''*. *Ligação de capela retangular à frontaria* (Figura 131). As condições e parâmetros que descrevem algorítmicamente estas regras foram inferidas a partir do esquema paramétrico ilustrado sobre a planta de Sant'Andrea ilustrado na Figura 129 e, encontram-se descritos em paralelo com as regras de forma no *Anexo VI. Gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti*.

---

<sup>224</sup> No contexto da transformação da gramática por influxo das características de San Sebastiano, as mudanças feitas às condições das *Regras 6.*, nomeadamente, as relativas à espessura das paredes das capelas (correspondentes a 1/2 da espessura das paredes da cela), também se verificam no em Sant'Andrea. Por este motivo, relativamente a este aspeto, a planta de Sant'Andrea segue o executado em San Sebastiano.

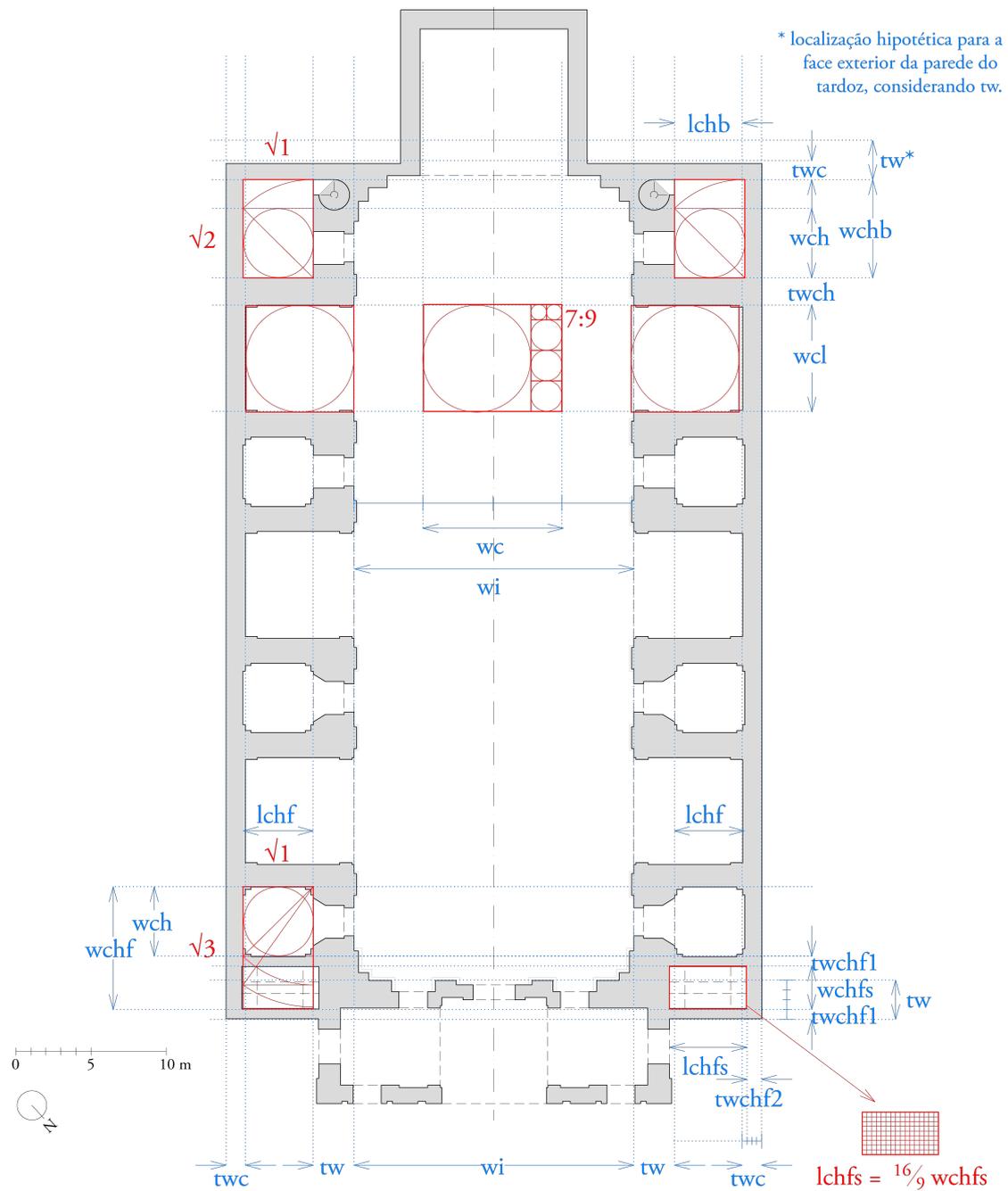


Figura 129. Planta de Sant'Andrea ilustrando o sistema de proporções implícitos aos compartimentos de ligação das capelas laterais ao tardo e frontaria. Fonte da planta base de Sant'Andrea: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).

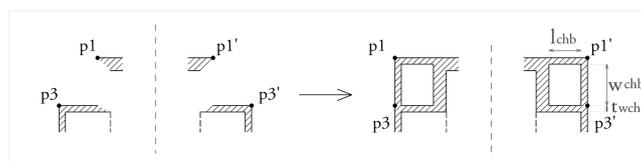


Figura 130. Regras 7b'. Ligação de capelas laterais retangulares ao tardo.

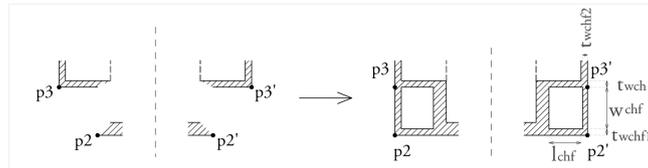


Figura 131. Regras 7b". Ligação de capelas laterais retangulares à frontaria.

(4) Regra 7f". Entre paredes de capelas laterais não justapostas

A introdução de antecâmaras entre as capelas laterais é uma das características mais inovadoras da morfologia da planta de Sant'Andrea. Estes compartimentos caracterizam-se por partilharem as suas paredes laterais com as capelas e pelas suas paredes de topo serem contínuas em relação às paredes de topo das capelas. Deste modo, a sua adição regulariza as fachadas laterais, que segundo as prescrições de *De re aedificatoria* ficariam marcadas pelas capelas salientes (ver Figura 115).

A Figura 132 esquematiza as proporções e parâmetros inerentes à introdução destas antecâmaras. Desta análise destacam-se dois factos: (1) as antecâmaras têm a mesma proporção que as capelas (1:1), isto é, a sua profundidade é igual à largura ( $l_{ch} = w_{ch}$ ); (2) a espessura das paredes do topo das antecâmaras ( $t_{wc}$ ) é menor do que a espessura das paredes que as separa das capelas laterais ( $t_{wch}$ )<sup>225</sup>, numa razão de 3:4. No Anexo VI apresentam-se estas condições e parâmetros, em paralelo com a Regra 7f" (Figura 133).

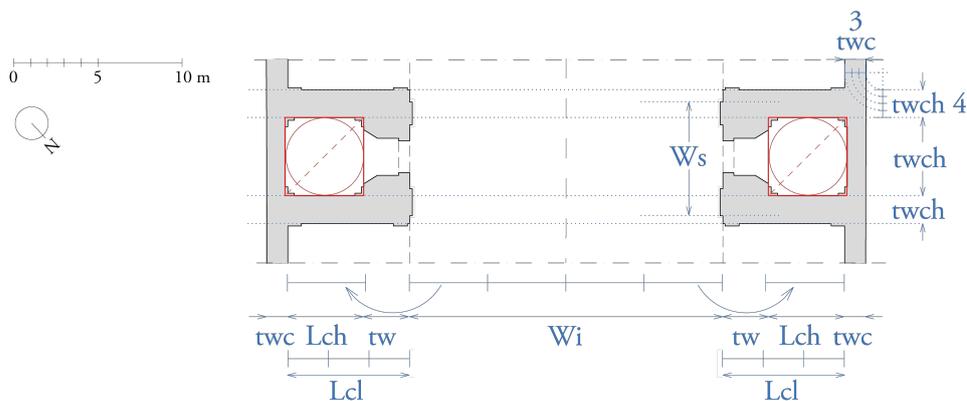


Figura 132. Extrato da planta de Sant'Andrea ilustrando o sistema de proporções implícitos às antecâmaras de ligação de capelas laterais. Fonte da planta base de Sant'Andrea: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).

<sup>225</sup> Na Figura 128, as áreas com trama de linha de cor azul, correspondem a áreas das paredes de ossatura que não são consideradas por Tavernor para o cálculo da abertura das capelas laterais. Nos alçados do pórtico interior longitudinal de Sant'Andrea, estas partes da parede correspondem a pilastras que sustentam o arco de abertura da capela, cuja continuidade, cuja continuidade, no sentido da profundidade da capela, constituem tramos de parede em que assentam as abóbadas das capelas. Porém, para bom rigor das regras que geram as paredes que separam as antecâmaras das capelas laterais, considera-se que a espessura dessas paredes ( $t_{wch}$ ) inclui este tramo de parede, excluído do cálculo da ossatura.

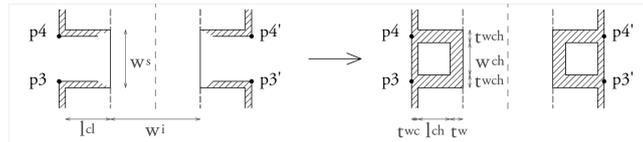


Figura 133. Regra 7f'. Ligação entre capelas laterais retangulares não justapostas.

(5) Regras 8 e 9. Localização do pórtico e Distribuição e colunas : mudança de regras (nova proporção)

No seguimento da análise das divergências do pórtico de Sant'Andrea, relativamente aos princípios edificatórios do tratado e  $GF_A$  (ver 4.3.3. *Sant'Andrea*), e com o auxílio do esquema de proporções ilustrado na Figura 134, considera-se a adição de duas novas proporções que afetam as condições das Regras 8 e 9 relativas ao delineamento do pórtico.

A primeira alteração corresponde à adição do ratio de um 3:1 para o cálculo do intercolúnio central relativamente ao intercolúnio, passando a considerar-se as seguintes condições:  $i_c = \delta' i$ ;  $\delta' \in \{1, 5/4, 3\}$ .

A segunda mudança é relativa à dimensão do intercolúnio no sentido da profundidade do pórtico ( $i'$ ). Este parâmetro foi integrado na gramática por influxo (transformação) de San Sebastiano (ver 4.4.2. *San Sebastiano: Regra 8d'*), onde  $i'$  e a profundidade do pórtico também não verificam o tratado. Em Sant'Andrea, o intercolúnio que define a profundidade do pórtico, corresponde ao ratio de 6:5 relativamente ao intercolúnio da colunata. Posto isto, para o cálculo da profundidade do pórtico ( $l_{port}$ ) e delineamento do pórtico, introduzem mudanças nas seguintes condições:

$$i' = \delta'' i; \delta'' \in \{1, 6/5, 2\}; l_{port} = 0 \vee l_{port} = m_{col} (d_{col} + i').$$

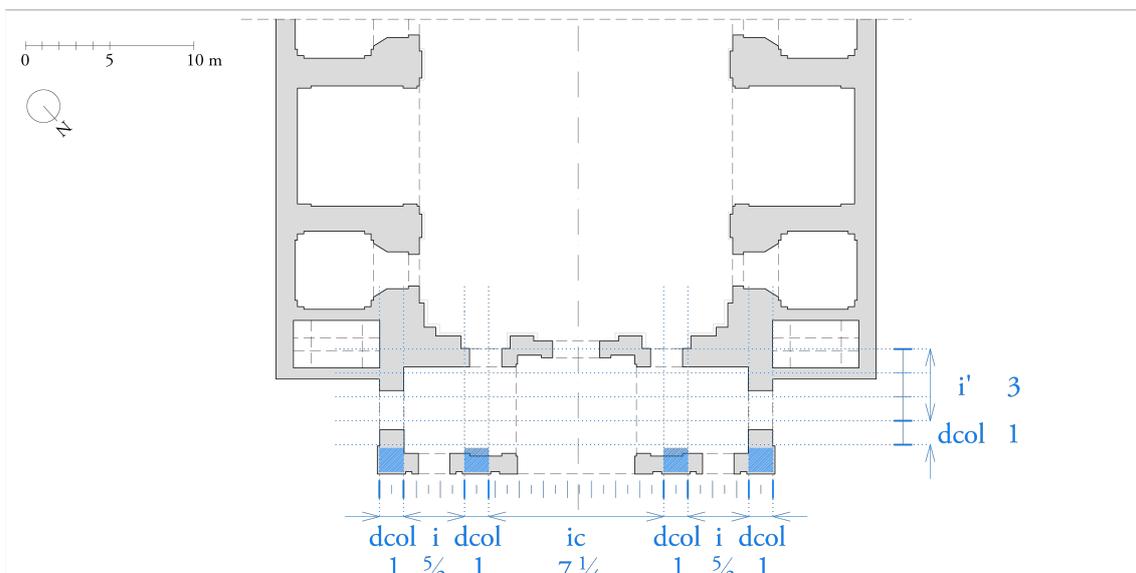


Figura 134. Extrato da planta de Sant'Andrea (parte frontal) ilustrando inferência do sistema de proporções presentes no pórtico de frontaria. Fonte da planta base de Sant'Andrea: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R., 1998, p. 185).

### 6) Regras 9'. Justaposição de paredes a colunata do pórtico da frontaria

O processo de transformação da GF<sub>A</sub> retratado neste subcapítulo termina com a adição de três regras que visam a possibilidade de transformação das colunas em pilastras e a adição de paramentos entre estas, conforme se verifica nas plantas de Sant'Andrea e San Sebastiano.

Em ambos os edifícios, existem pórticos de arquitrave sustentados por pilastras (Figura 135). Em Sant'Andrea, esta adaptação estende-se aos pórticos existentes no interior da nave. Como referido no subcapítulo 3.1.4.3. *Sistematização da coluna*, este facto representa uma das maiores contradições entre a teoria e a obra edificada de Alberti, ou melhor, uma das transformações mais significativas entre os dois cânones.

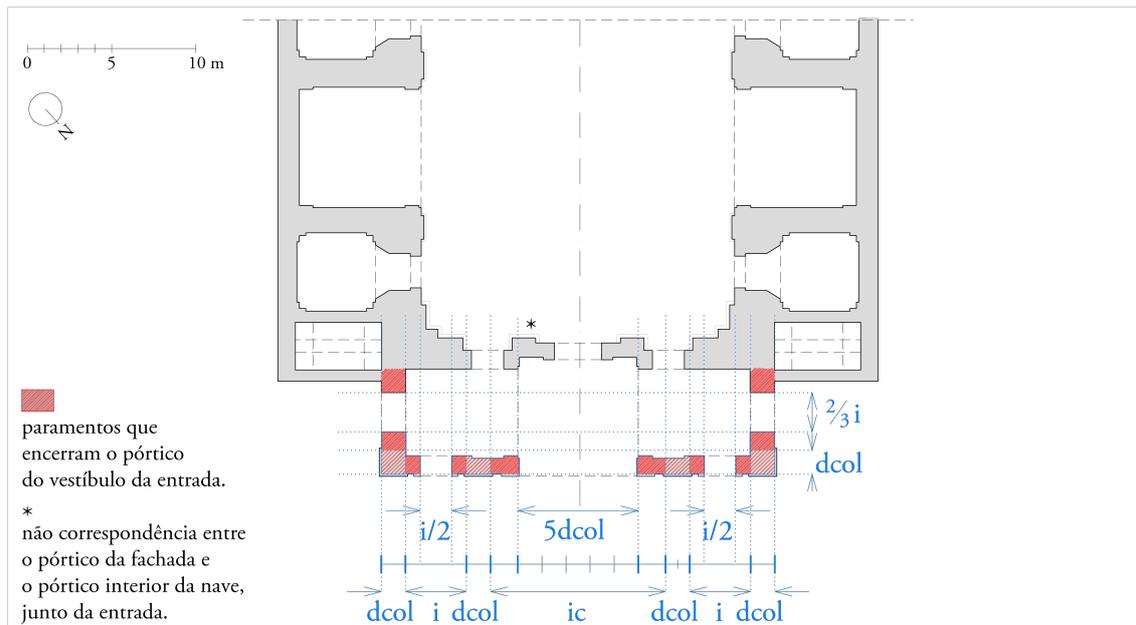


Figura 135. Extrato da planta de Sant'Andrea (parte frontal) ilustrando inferência do sistema de proporções presentes no pórtico de frontaria. Fonte da planta base de Sant'Andrea: (Olivetti / Alberti Group, 1998; Tavernor R. , 1998, p. 185).

A primeira regra deste conjunto denomina-se de *Regra 9'a. Transformação de coluna em pilastra* (designação que explicita a sua função). Formalmente, a *Regra 9'a* apaga a circunferência, representativa da geometria da coluna e o marcador representativo do seu centro ( $O_c$ ), simultaneamente, adiciona um quadrado cuja largura ( $w_{pi}$ ), é igual ao diâmetro da coluna ( $w_{pi} = d_{col}$ ) e adiciona o marcador  $O_p$  no centro da pilastra Figura 136a.

A segunda regra adicionada neste contexto designa-se de *Regra 9'b. Incorporação de parede entre pilastras da mesma colunata* e tem o objetivo de adicionar uma parede entre duas pilastra consecutivas, ocupando o espaço do intercolúnio, situadas na largura do pórtico, isto é, na mesma colunata.

Finalmente, a *Regra 9'c. Incorporação de parede entre pilastras de diferentes colunatas*, é similar à regra anterior, mas prevê a adição de paredes entre pilastras distribuídas no sentido da profundidade do pórtico, ou seja, pertencentes a diferentes colunatas.

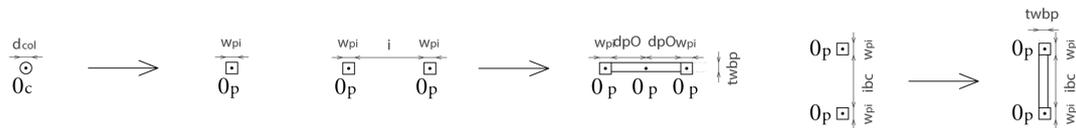


Figura 136. À esquerda, Regra 9'a. Transformação de coluna em pilastra. Ao centro, Regra 9'b. Incorporação de parede entre pilastras da mesma colunata. À direita, Regra 9'c. Incorporação de parede entre pilastras de diferentes colunatas.

#### 4.4.4. Uma gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti

O processo de transformação formal da  $GF_A$  é ilustrado no *Anexo VI: Gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti*.<sup>226</sup> Como explicitado anteriormente, a tarefa de transformação da  $GF_A$  circunscreve-se aos seus três primeiros estágios de geração e à gramática para geração da planta.

A primeira parte do *Anexo VI* demonstra o processo de transformação da gramática em gramáticas de forma subsequentes que têm em consideração a obra construída de Alberti. Neste sentido, apresentam-se as transformações ocorridas pela introdução de princípios edificatórios inferidos do Templo Malatestiano, da igreja de San Sebastiano e da igreja de Sant'Andrea, formulando três gramáticas de forma subsequentes.

A segunda parte do *Anexo VI* apresenta a  $GF_{AE}$ , obtida do processo de transformação. Tal como a  $GF_A$ , a  $GF_{AE}$ , é uma gramática de forma paramétrica uma vez que as mudanças de regras mantêm o mesmo esquema paramétrico das regras de forma da  $GF_A$ , ainda que contemplem novas condições ao dimensionamento das formas e a dedução de novas relações espaciais pelo redimensionamento dos parâmetros que afetam as regras de forma em questão. Por este motivo, a  $GF_{AE}$  e as suas regras de forma são acompanhadas por uma lista de todos os esses parâmetros, bem como, pelo conjunto de condições em que se aplicam esses parâmetros.

##### *A estrutura recursiva da nova gramática*

O diagrama apresentado na Figura 137 mostra a estrutura recursiva da nova gramática, indicando as regras que sofreram mudanças e as regras adicionadas. Do processo de transformação gramatical resultaram 25 mudanças de regras e a adição de 10 regras, perfazendo um total de 53 regras de forma, em contraste com as 43 regras de forma existentes na  $GF_A$  (nos três primeiros estágios). Este aumento do número de regras confere uma maior capacidade gerativa à  $GF_{AE}$ .

Pela adição de regras altera-se a estrutura recursiva da gramática inicial, pelo que a  $GF_A$  e a  $GF_{AE}$  não são isomórficas. Todavia, existe um grande grau de similaridade entre as estruturas recursivas das duas gramáticas. Os princípios inferidos dos edifícios, e as regras de forma que lhes estão implícitos, adaptaram-se coerentemente aos estágios da gramática inicial. Este facto é consentâneo com os resultados obtidos na avaliação inversa da  $GF_A$  (subcapítulo 4.3. *Avaliação Analítica Inversa*), isto é, com a demonstração da  $GF_A$  deter capacidade explicativa dos edifícios de Alberti. Acresce o

<sup>226</sup> Como abreviatura de *Gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti* utilizamos o acrónimo  $GF_{AE}$ .

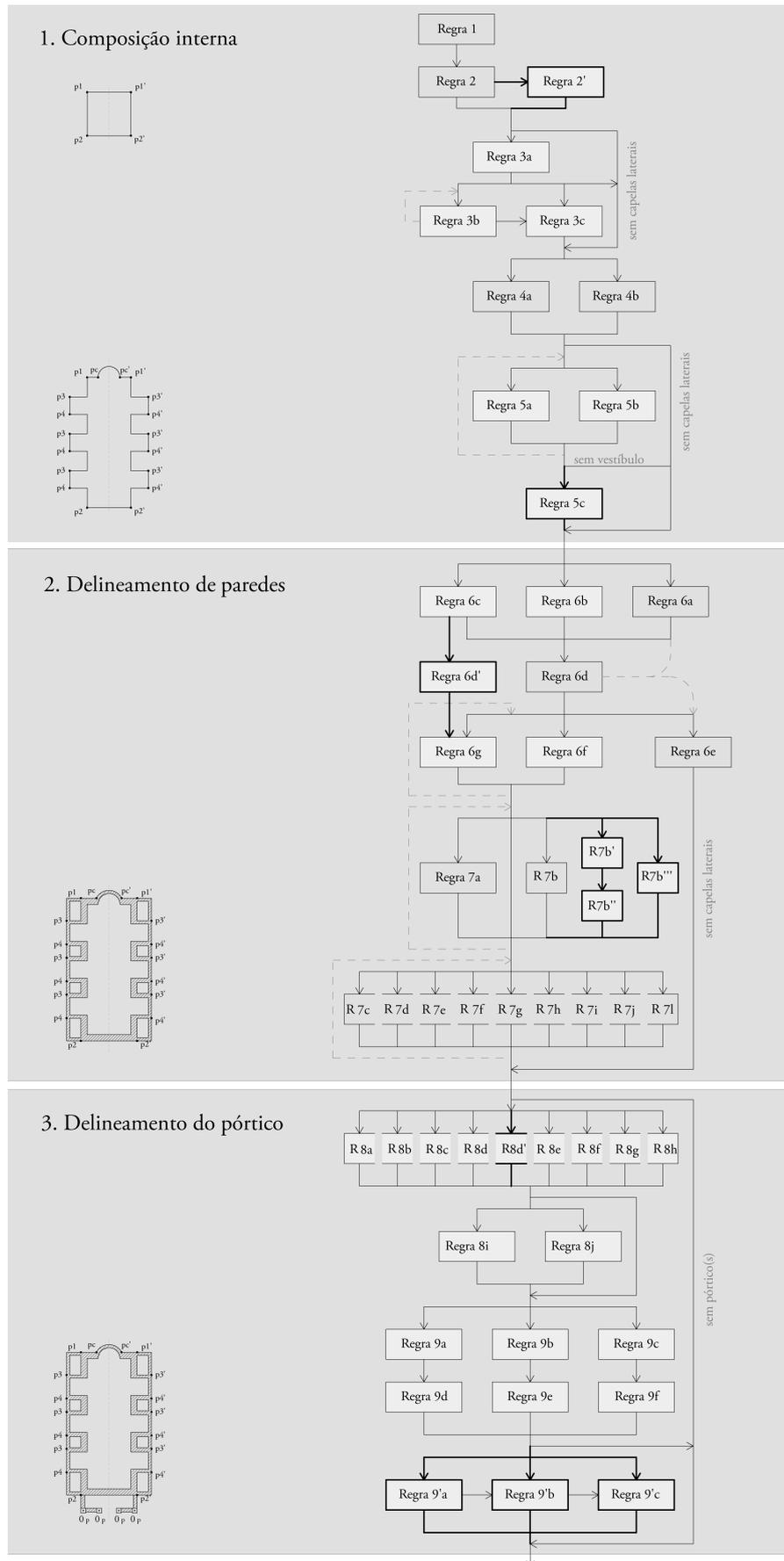


Figura 137. Estrutura recursiva da GF<sub>AE</sub>. As regras com sombreado a cinza clara sofrerão mudanças. As regras a sombreado com contorno a linha grossa correspondem a novas regras. As linhas espessas representam novos elementos no diagrama.

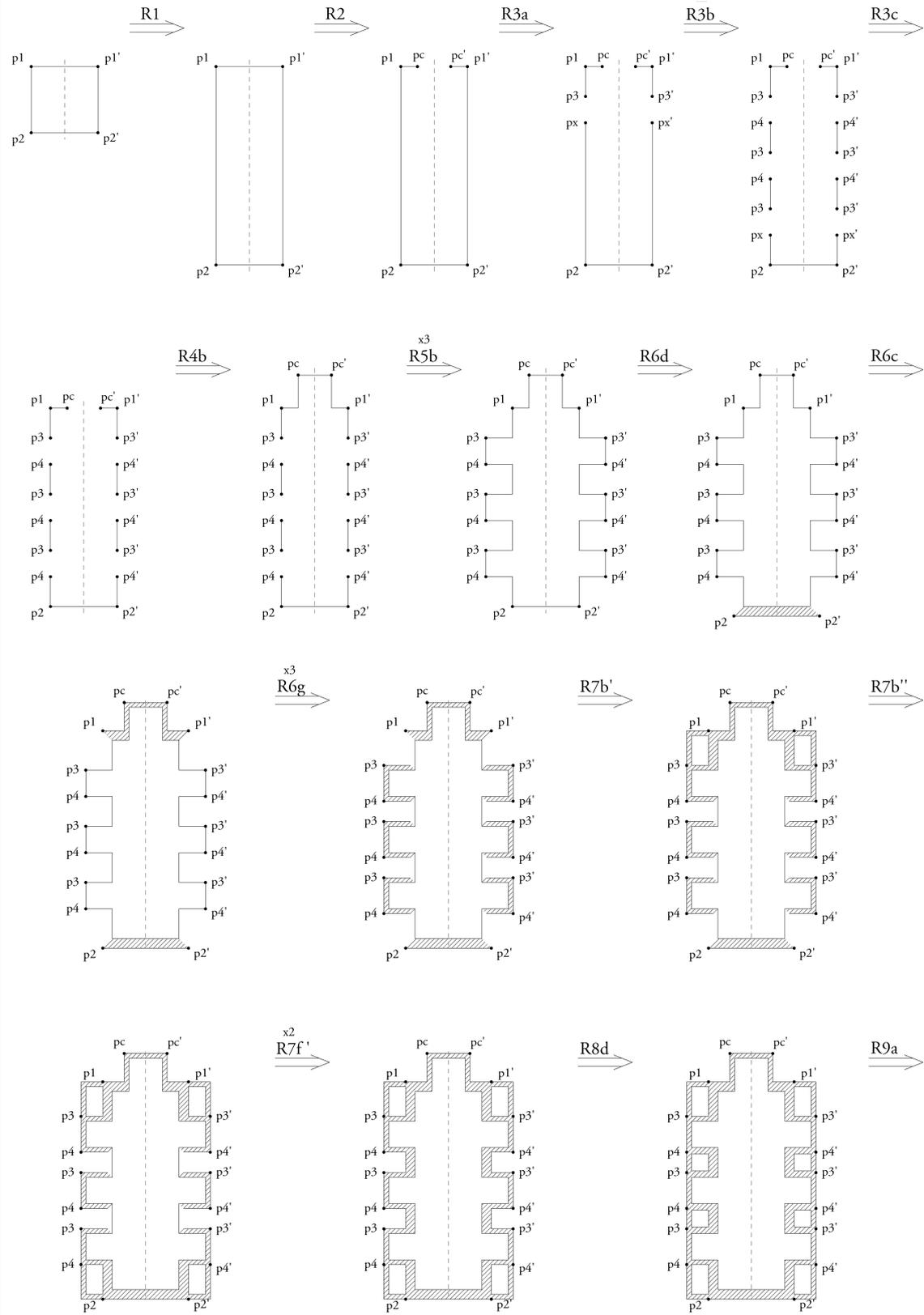


Figura 138. Derivação de solução de projeto da GF<sub>AE</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma – da solução de maior afinidade com Sant'Andrea.

de que genericamente, a transformação gramatical operou correções ao nível de proporções e da adição de partes que não fazem parte do sistema compositivo principal dos edifícios sagrados.

*Derivação de uma solução aproximada de Sant'Andrea*

Como teste da capacidade gerativa da GF<sub>AE</sub> recorreu-se ao processo de derivação de uma solução de projeto pela subsequente aplicação de regras de forma a uma forma inicial, conforme metodologia apresentada no subcapítulo 3.3.2. *Processo de derivação de soluções de projeto.*

Do *corpus* de projeto de Alberti retratado neste capítulo, Sant'Andrea é o que apresenta uma morfologia mais complexa, e com um maior impacto na arquitetura da Renascença em Portugal. Por este motivo, considera-se que Sant'Andrea é o exemplo mais apropriado para verificar a capacidade da GF<sub>AE</sub> gerar soluções de projeto dentro dos cânones edificadas de Alberti. Do mesmo modo que no subcapítulo anterior procedeu-se à derivação de uma solução da GF<sub>A</sub> o mais convergente possível com as características morfológicas e proporcionais de Sant'Andrea, no âmbito da nova gramática, executa-se o mesmo processo de derivação (Figura 138 e Figura 139), acrescentando a possibilidade de convergência de relações espaciais e proporções inferidas dos edifícios pela mudança e adição de regras à gramática inicial.

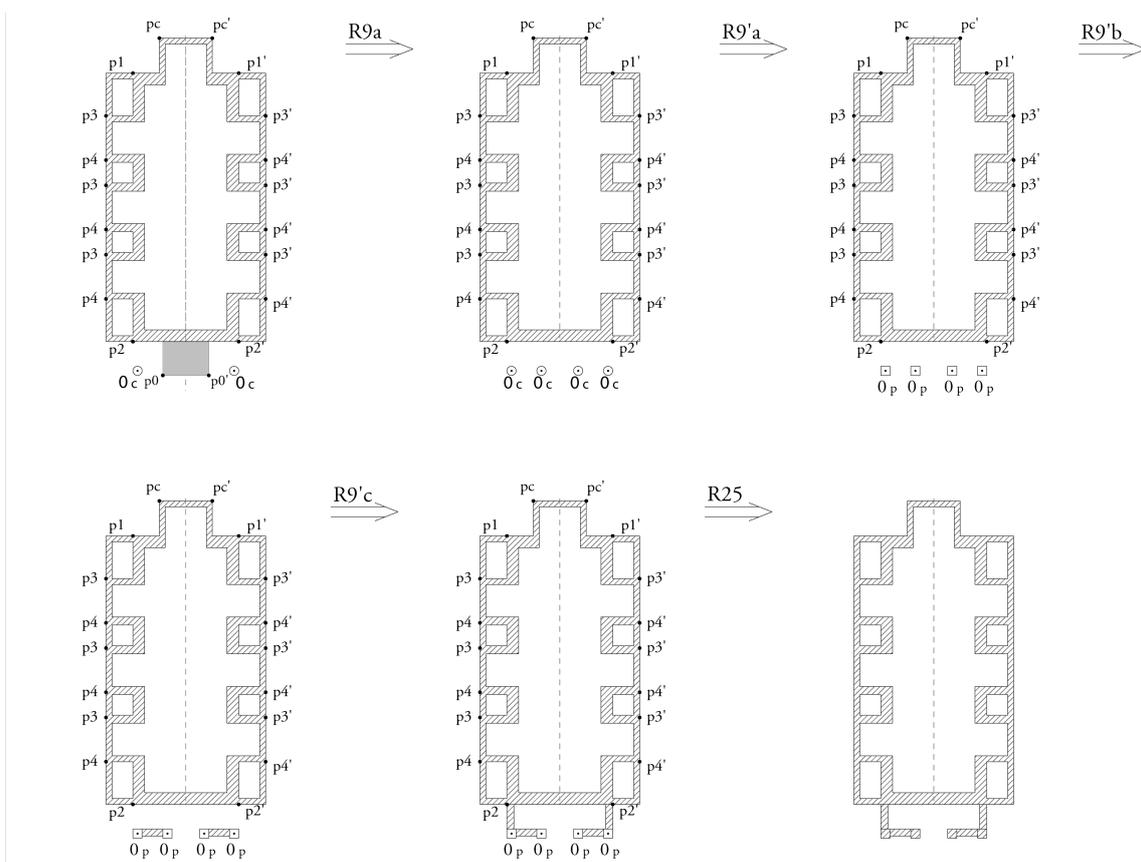


Figura 139. Continuação da Figura 138. Derivação de solução de projeto da GF<sub>AE</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma – da solução de maior afinidade com Sant'Andrea.

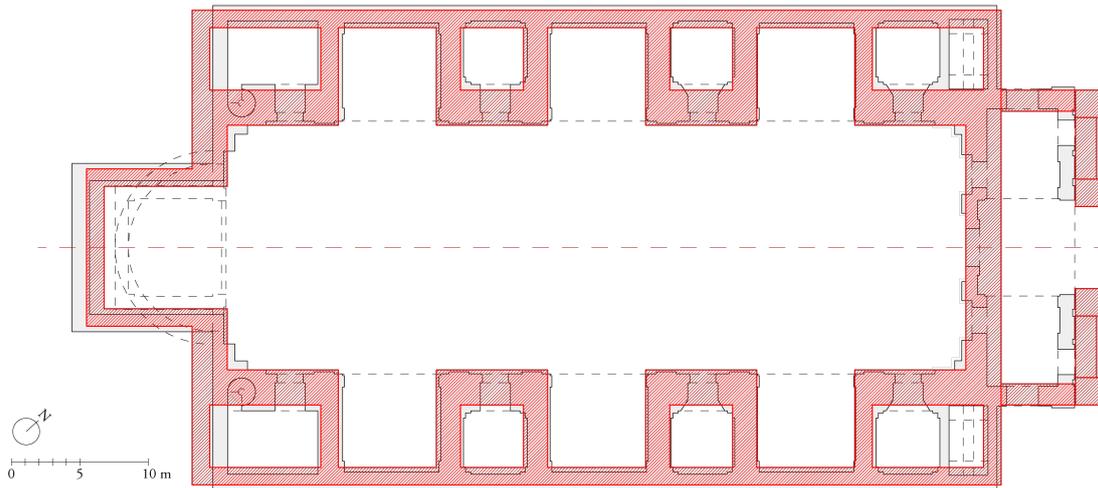


Figura 140. Sobreposição da planta de Sant'Andrea - na versão considerada para o nosso estudo, com planta gerada pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho).

A solução de projeto preconizada no processo de derivação da GF<sub>AE</sub>, quando sobreposta à planta de Sant'Andrea, revela uma solução de projeto muito similar à planta de Sant'Andrea (Figura 140). Observem-se se as divergências assinaladas no subcapítulo 4.3.3. *Igreja de Sant'Andrea*, entre a solução de projeto da GF<sub>A</sub> e a planta de Sant'Andrea, ainda persistem na solução de projeto gerado pela GF<sub>AE</sub>:

(1) O facto mais relevante do processo de derivação desta solução foi constatar que pela combinação da proporção 1:3 da cela ( $w_i:l_i$ ) de Sant'Andrea, relativa à *Regra 1*, com o *ratio*  $\sqrt{2}:\sqrt{3}$  entre a ossatura e a abertura das capelas laterais, medido entre as pilastras (ver Figura 128), relativo à *Regra 3*, acrescido da aplicação da *Regra 7f*, que prevê o delineamento de uma antecâmara entre as capelas laterais e, o redimensionamento da espessura das paredes que separam esta antecâmara das capelas laterais (conforme representado no esquema da Figura 128, na trama de linhas azuis), o *ratio* para a abertura da capela-mor (relativamente à largura da cela) mais convergente com as características descritas, e em conformidade com o previsto na *Regra 2*, é de 2:4. A aplicação deste *ratio* à abertura da capela-mor traduziu-se ainda na verificação das condições descritas no tratado para o dimensionamento das aberturas laterais, isto é, na relação de 1:1 entre estas aberturas (ver condições da *Regra 3*, em que:  $w_d = \varphi w_c$ ;  $\varphi \in \{11/12, \underline{1}\}$ ).

(2) As proporções das capelas laterais são iguais, e as sus dimensões muito próximas, das capelas de Sant'Andrea.

(3) As *Regras 3*. da GF<sub>AE</sub>, ao considerarem *rationes* inferidos das proporções inatas, permitiram gerar capelas laterais com ossaturas correspondentes a  $\sqrt{2}:\sqrt{3}$  da abertura das capelas, se medidas entre as pilastras do pórtico da fachada interior da nave.

(4) A solução gerada pela GF<sub>AE</sub> gerou os compartimentos entre as capelas laterais com delineamento muito próximo dos presentes na planta de Sant'Andrea.

(5) A espessura das paredes das capelas laterais da solução gerada pela GF<sub>AE</sub> e a sua disposição é análoga às respetivas paredes de Sant'Andrea.

(6) O delineamento e disposição da planta do pórtico geradas na solução gerada pela GF<sub>AE</sub> também se aproxima da planta do pórtico de Sant'Andrea.

Globalmente, pode-se afirmar que ao nível das relações morfológicas e proporcionais, a transformação da GF<sub>A</sub> na GF<sub>AE</sub> “corrige” as divergências das soluções de projeto da primeira gramática relativamente à obra edificada de Alberti.

## 4.5. Sumário

Neste capítulo verificou-se a capacidade analítica de uma parte da linguagem de projeto da  $GF_A$  (relativa à planta) através da derivação de soluções projeto, que dentro de determinadas restrições, apresentam um grande grau de similaridade com obras edificadas atribuídas a Alberti. Em diversas situações, a correspondência morfológica dos dois cânones não é acompanhada de uma absoluta coerência dimensional.

Todavia, a avaliação do grau de correlação desses edifícios e a  $GF_A$  — por modelo de regressão linear simples (MRLS) — demonstrou uma forte correlação entre as variáveis quantitativas dos cânones teóricos para com o universo edificado de Alberti, bem como, a capacidade dos primeiros explicitarem os segundos (relativo ao coeficiente de determinação).<sup>227</sup> Ou seja, os desvios encontrados não afectam a inclusão destes edifícios de Alberti na linguagem edificatória descrita no tratado.

Como conclusão poder-se-á dizer que em geral, as regras de forma da  $GF_A$  e os seus princípios edificatórios estão presentes nos edifícios. Ou seja, ainda que se verifiquem adaptações aos contextos das obras, a linguagem de projeto descrita no *De re aedificatoria* é razoavelmente explicativa da linguagem de projeto de Alberti, nomeadamente, ao nível dos sistemas de composição espacial e proporcional. Em paralelo, importa compreender que os parâmetros existentes na obra edificada de Alberti não previstos na  $GF_A$  obrigam a uma leitura mais ampla dos resultados do teste analítico.

Em suma, é pela concatenação da análise inversa com a avaliação do grau de convergência de parâmetros comuns que se alcança a resposta ao teste analítico da  $GF_A$ .

A maioria das transformações operadas à  $GF_A$  consistiu na mudança de regras pela adição de proporções presentes nos edifícios de Alberti e não prescritas no *De re aedificatoria*. Estas proporções introduzem mudanças ao nível do dimensionamento de parâmetros e, consequentemente, novas relações espaciais. Simultaneamente, dado o carácter acumulativo do processo de transformação da  $GF_A$  na  $GF_{AE}$ , esta mudança consiste na inclusão destas proporções no conjuntos de variáveis inferidas do tratado e presentes na  $GF_A$ .

A adição de novas regras à  $GF_A$  é um processo de transformação igualmente dominante nesta tarefa. Essencialmente, procedeu-se à adição de regras que visam a geração de novos espaços e relações espaciais para permitir gerar espaços não previstos no tratado. Por este motivo, estas regras introduzem novos parâmetros e condições à gramática.

A estrutura recursiva da  $GF_{AE}$  resulta da transformação da estrutura da  $GF_A$ , numa entre não isomórfica uma vez que a evolução linguística que caracterizam considera a adição de regras. Não obstante, é possível identificar subconjuntos das gramáticas que detêm correspondências, particularmente, na relação entre os diferentes estágios das gramáticas. As transformações operadas à gramática inicial não introduzem transformações na sequência e propósito dos estágios destas  $GF$ s.

---

<sup>227</sup> Esta avaliação, complementa o teste analítico inverso, no sentido em que verifica a existência de correspondências entre a morfologia dos edifícios sagrados gerados pela  $GF_A$ , mas, em diversas situações não existe correspondência ao nível das proporções utilizadas.

Esta convergência dá-se devido às similaridades morfológicas que se encontram entre a linguagem da teoria Albertiana e a sua prática de projeto.

Existe uma coerência base entre os projetos de Alberti e as regras edificatórias da sua teoria. Porém, perante o contexto de projeto, não se coíbe de adaptar e adicionar novas regras, representativas de uma evolução dentro das normas da linguagem. Por este motivo, coloca-se a hipótese da linguagem de projeto albertiana resultar da união entre a linguagem da teoria albertiana e relações espaciais e proporções identificadas no contexto da sua atividade de projeto.

O pensamento de projeto de Alberti incorpora dois princípios cuja implementação em regras de forma resultaria numa relação mais fiel com os seus princípios edificatórios:

Os sistemas de proporções estabelecidos no *De re aedificatoria* aspiram a uma certa universalidade de aplicações. Se no tratado são especificados para uma determinada função, no processo de projeto e edificação esses princípios desdobram a sua abrangência.

No capítulo introdutório à obra edificada de Alberti (4.2. *Da obra edificada de Alberti, um corpus complementar da gramática albertiana*) vimos que o léxico formal de referência albertiana é sediado no Antiquidade Clássica, contudo o seu olhar eclético e processo apropriacionista, introduz um carácter evolutivo na sua linguagem.

Se o primeiro pode ser implementado algoritmicamente, através da descrição das suas condições de aplicação em regras de forma paramétricas, o segundo, está dependente da evolução da inteligência artificial no sentido de integrar a avaliação semântica de formas.



**5. Avaliação analítica inversa da linguagem albertiana num *corpus* de igrejas portuguesas (do período da Contrarreforma)**



## 5.1. Introdução

Neste capítulo relaciona-se a capacidade generativa do conhecimento edificatório albertiano no contexto dos edifícios sagrados de planta rectangular, compilado na GF<sub>AE</sub><sup>228</sup> (ver subcapítulo 4.4.), com um *corpus* de igrejas portuguesas construídas no período da Contrarreforma.

O propósito é auxiliar à compreensão do influxo do cânone albertiano nos edifícios portugueses, tal como a sua eventual adaptação compositiva<sup>229</sup> decorrente de práticas de construtivas, influências arquitectónicas, culturais, políticas ou, contextuais. A prossecução deste objectivo resulta na divisão do capítulo em duas partes.

(1) A primeira é de carácter introdutório, consta de uma breve contextualização aos modelos iniciais da arquitetura da Renascença portuguesa, no âmbito dos temas retratados nesta tese e, de uma seleção e apresentação de um *corpus* de quatro igrejas representativas da arquitetura portuguesa desse período para suporte dos trabalhos desenvolvidos neste capítulo. Esta narração é feita de modo segmentado, atribuindo-se um subcapítulo a cada uma das igrejas estudo de caso, onde se faz um breve enquadramento das obras seleccionadas, retratando o ambiente cultural e político em que se desenvolvem, bem como contingências do processo de edificação que terão contribuído para a especificidade compositiva de cada uma delas. Termina-se este subcapítulo com a exposição de argumentos para a seleção das igrejas de São Roque (Lisboa), do Espírito Santo (Évora), São Lourenço (Porto) e São Vicente de Fora (Lisboa), validando a sua seleção no contexto desta investigação.

(2) A segunda parte visa alcançar algumas respostas ao enunciado do capítulo<sup>230</sup>. Deste modo, retoma-se a metodologia apresentada no subcapítulo 4.3. *Avaliação analítica inversa*, ou seja, procede-se à avaliação analítica inversa das regras edificatórias da GF<sub>AE</sub> tomando como referência o *corpus* de igrejas portuguesas previamente definido. Recorde-se que a avaliação é conduzida em dois modelos complementares:

O primeiro, executa um teste analítico inverso da gramática. Isto é, (1) após inferência das características morfológicas e proporcionais das plantas do *corpus* português, (2) são derivadas soluções de projeto da GF<sub>AE</sub>, onde se considera a aplicação dessas características, ou as mais afins das condições das regras de forma da gramática. Alcançadas as soluções de projeto, (3) observam-se os

---

<sup>228</sup> Denomina-se GF<sub>AE</sub> à gramática de forma de edifícios sagrados de planta rectangular, resultante da transformação da gramática de forma inferida do *De re aedificatoria* (capítulo 3) pela adição do conhecimento edificatório inferido de um corpus edifícios sagrados projetados por Alberti (capítulo 4).

<sup>229</sup> À realização desta tarefa, é implícito o enquadramento teórico proposto por Terry Knight, referido anteriormente, segundo o qual a transformação de um estilo, num subsequente, pode ser explicada pela alteração, subtração ou adição de regras à gramática inicial para obter a nova gramática. Todavia, ao contrário do apresentado no capítulo 5, não se procede à transformação da gramática herdada desse capítulo, uma vez que, o nosso objectivo é avaliar a sua influência no contexto português, ao invés de desenvolver uma gramática representativa desse contexto. Essa tarefa poderá ser considerada no desenvolvimento de trabalhos futuros.

<sup>230</sup> Dada a extensão de igrejas erigidas na área de interferência portuguesa nos séculos XVI e XVII, a abrangência das questões colocadas têm uma dimensão que se prolongaria a esse universo, não obstante a amostra realizada neste capítulo tem o intuito de auxiliar ao seu esclarecimento dessas questões.

aspectos em que convergem e divergem das igrejas portuguesas, aferindo-se a capacidade analítica da GF<sub>AE</sub> relativamente às plantas destas igrejas.

O segundo modelo, o MRLS<sup>231</sup>, tradicionalmente utilizado em cálculo estatístico, (4) avalia o grau de correlação e explicitação que as proporções e números descritos nas condições das regras de forma da GF<sub>AE</sub> têm de um *corpus* de plantas de igrejas portuguesas.

Deste modo, a segunda parte do capítulo divide-se em quatro subcapítulos, um por cada igreja, onde se desenvolvem os passos da avaliação analítica inversa enumerados.

---

<sup>231</sup> Ver explicitação de *Modelo de Regressão Linear Simples* (MRLS) no capítulo 4.3. *Avaliação analítica inversa*.

## 5.2. Um *corpus* de igrejas portuguesas do período da Contrarreforma

### 5.2.1. Episódios iniciáticos de uma *formulação regional*

Os estudos de caso representativos da arquitetura portuguesa no período da Contrarreforma que apoiam a investigação apresentada neste capítulo centram-se nas igrejas jesuítas de S. Roque de Lisboa, Espírito Santo de Évora e S. Lourenço do Porto e na igreja filipina de S. Vicente de Fora em Lisboa. Não obstante a importância dos modelos jesuítas nesta investigação, dada a sua ascendência Romana, documentalmente comprovada, e ainda a relevância do modelo vicentino — símbolo da regência filipina e um dos expoentes da expressão arquitetónica da Renascença em Portugal —, importa fazer uma breve referência a manifestações anteriores e coevas a estes modelos, correspondentes a episódios que retratam o aparecimento de igrejas compostas por nave única, capela-mor e capelas nas laterais no contexto português.

É reconhecido o contributo de historiadores como George Kubler e Rafael Moreira para o enquadramento e clarificação<sup>232</sup> historiográfica da eclética arquitetura portuguesa da Renascença. O autor norte americano publica *Portuguese Plain Architecture: Between Spices and Diamonds, 1521-1706* em 1972, estabelecendo um quadro conceptual coerente de um *corpus* edificado entre os reinados de D. Manuel I e D. João V (de 1521 a 1706)<sup>233</sup>, onde adota a terminologia de *estilo chão* para retratar o classicismo austero dominante nas obras desse período. Moreira (1988; 1991; 1995) prossegue o trabalho de Kubler ao estudar as Comissões Reais entre Manuelino e o Maneirismo, identifica 150 edifícios enquadráveis num *corpus* da Renascença portuguesa. Moreira (1991, pp. 3-4) assinala um primeiro momento do Renascimento em Portugal coevo dos primeiros anos do reinado de João III<sup>234</sup> que “esforçou-se por arrancar uma imagem humanística da arquitectura no seio da tradição gótica e colocá-la ao serviço o poder régio” e, subsequentemente, com o apoio do regente na “abertura aos ventos de renovação que chegavam de Itália”<sup>235</sup>.

---

<sup>232</sup> Nuno Senos (2012) faz referência a um conjunto de autores que entre as décadas de 1930 e 1960 produziram uma narrativa historiográfica incapaz que caracterizar a arquitetura da Renascença portuguesa. Os autores referidos são: Virgílio Correia (1928-1937), Reynaldo dos Santos (1966-1970), João Barreira 1946, Mário Tavares Chicó (1942-1953), Robert Smith (1968).

<sup>233</sup> Relativa ao final do reinado de D. Manuel e ascensão de D. João III em 1521, e à subida ao trono de D. João V, após morte de D. Pedro II, em 1706. Kubler enquadra a sua investigação entre a o ciclo Manuelino e Joanino, simbolicamente representados pela edificação do mosteiro dos Jerónimos e Palácio e Convento de Mafra, respetivamente.

<sup>234</sup> De acordo com Moreira, a atenção inicial ao pensamento humanista italiano em Portugal remonta a D. João II. A este propósito ver os seguintes textos do autor: *O italianismo de D. João II e A estadia de Andrea Sansovino* (Moreira, 1995b, pp.312-315) .

<sup>235</sup> Segundo Moreira (1995b, pp.317) este momento pode ser assinalado pela publicação do tratado *Medidas del Romano* (Toledo ,1526) do espanhol Diego Sagredo, em Lisboa no ano de 1541, devido ao prestígio que a publicação granjeou em favor do “romano” .

Paulo Pereira designa de *formulação regional* (2011, p. 578) à composição de nave única e capela-mor das igrejas erigidas em Portugal nesse período. Deste grupo, considera iniciáticas as igrejas construídas em Coimbra, em particular na Rua Sofia, ao longo do século XVI e XVII. A igreja do Colégio da Graça de Coimbra (1542), atribuída ao arquiteto Asturiano, Diogo de Castilho<sup>236</sup> (c.1495 - c.1575) destaca-se por ser inaugural e, por uma composição interna onde abrem-se três pares de capelas intercomunicantes<sup>237</sup>.

Sousa Viterbo (1899, pp. 170-183), na biografia de Diogo de Castilho, não faz qualquer alusão a uma possível estadia deste em Itália, antes da sua chegada a Portugal e se instalar em Coimbra. Pelo contrário, na biografia de João de Castilho (c.1485-1561), seu irmão mais velho, é referida a passagem deste por “Napoles e outros pontos de Itália, onde tivera ocasião de apreciar os esplendores do renascimento, instruindo-se ao mesmo tempo nas escolas dos grandes mestres.” Viterbo acrescenta ainda que nos primeiros anos do século XVI (sem precisar qual), João de Castilho estaria a trabalhar na construção da abóbada do coro da Sé de Viseu (concluída em 1513), tendo o seu irmão como colaborador. Se os irmãos Castilho estavam juntos em Viseu, Diogo, então muito jovem, poderá ter acompanhado o seu irmão nessa viagem, ou apenas, ter sido informado, por este do conhecimento que teria da arquitetura italiana. Nesta encruzilhada, ao cruzar-se a data de chegada de Giulio Romano a Mântua, c. 1526-1540, por altura da visita de João de Castilho a Itália, Sant’Andrea apresentaria a composição sem transepto conforme autoria de Alberti,.

Outro episódio de um primeiro momento da arquitetura da Renascença portuguesa corresponde à chegada do arquiteto italiano Francesco da Cremona (c.1480-c.1550)<sup>238</sup> a Portugal em c.1525, por iniciativa do bispo de Viseu, D. Miguel da Silva (1486-1556). A esta circunstância não é alheio o facto de D. Miguel Silva ter tido formação humanista e representado o reino como embaixador na Cúria romana, antes de ocupar o cargo de bispo (c. 1525), sendo uma figura proeminente e patrocinado um vasto número de obras de relevo no Norte de Portugal durante esse período (Moreira, 1995, pp. 332-334; Abreu, 2010, pp. 557-583)<sup>239</sup>, destacando-se a monumentalidade do conjunto de obras erigidas na Foz do Douro (Moreira, 1995, pp. 332-334; Abreu, 2010, pp. 557-583).

Deste conjunto, interessa referir a igreja Velha de S. João da Foz (c.1527), que Moreira coloca em destaque pela sua composição em nave única, de proporção dupla, capela-mor de planta

---

<sup>236</sup> Viterbo (1899, pp. 170-183) atribui a Diogo Castilho (mestre de obras reais de Coimbra, desde 7 de Abril de 1524), trabalhos nas obras de Santa Cruz, no Colégio das Artes, Colégio de S. Jerónimo, e noutras obras de infraestruturas públicas.

<sup>237</sup> No contexto de Coimbra, com data anterior à igreja de São Roque, António Nunes Pereira faz referência às igrejas do Colégio de São Bernardo (1542-1545), o Colégio de São Tomás (1547-155), o Colégio do Carmo (1548-1600), o Colégio de São Paulo (c.1550), o Colégio de São Domingos (1555), o colégio de São Jerónimo e (1565) e o Colégio da Companhia de Jesus (1568).

<sup>238</sup> “A fonte mais directa do mestre cremonês parece ter sido a tradução ilustrada de Vitruvius feita por César Cesariano, um discípulo de Bramante (publicado em Como, perto de Milão, em 1521), e talvez, as *Medidas del Romano* de Diego Sagredo (Toledo, 1526).” (Moreira, 1998, p. 337)

<sup>239</sup> A primeira obra portuguesa atribuída a este arquiteto é o claustro da Sé de Viseu, executada logo a pós a sua chegada em c. 1525.

hexagonal, aberta numa parede que segue a composição de arco de triunfo. Este historiador sugere que o arquiteto dominicano Frei Julião Romero, conheceria a igreja da Foz e, que a sua deslocação a Roma, em 1552-53, permitiu-lhe compreender melhor essa obra. Com efeito, aplicou esta espacialidade ao traçado das igrejas de S. Gonçalo de Amarante (c. 1554), de S. Domingos de Viana (1561) e na Matriz de Ponte de Lima (1567). Nas duas primeiras, para além da nave única (uma abóbada lisa na igreja de Amarante) está já presente a modulação de três pares de capelas criptocollaterais, e ainda, um transepto inscrito (com janelas termiais nos braços transversos da igreja de Viana).

“Antecipando em mais de uma década<sup>240</sup> a data tradicionalmente aceite pela historiografia para a polémica entre uma e três naves, passando-a do âmbito da arquitetura dos Jesuítas para a dos pioneiros frades pregadores, e trocando a filiação neomedieval em S. Francisco de Évora por outra na área nortenha, a simplicidade albertiana da Foz revista por Julião Romero à luz das necessidades litúrgicas e espirituais do seu tempo viria, afinal, a servir de inspiração a duas das mais originais criações da arquitetura quinhentista nacional: a igreja-tipo misericórdias, uma instituição exclusivamente portuguesa, e as igrejas «em caixa lisa» (*plain box*, na terminologia kluberiana) que o *modo nostro* da Companhia de Jesus faria suas. Põe-se assim em causa – ou, se preferirmos, renovam-se dados dum velho problema – a verdadeira fonte e pretensa originalidade do «estilo jesuítico».” (Moreira, 1995, p. 339)

Com efeito, é relevante verificar a contemporaneidade das obras de Julião Romero e as igrejas jesuítas de S. Roque de Lisboa e do Espírito Santo de Évora, uma vez que seguem esquemas compositivos próximos, reivindicando originalidade. Todavia, encontram-se dois argumentos que se acreditar que a filiação das igrejas de Évora e Lisboa é mais devedora de modelos italianos e locais (no caso de Évora), do que das obras de Romero. Por oposição ao referido por Moreira, na igreja de S. Roque, a hesitação pela adopção da composição em nave única dá-se em 1555, um ano após o início dos trabalhos. Ou seja, o traçado trazido pelo P. Manuel Godinho de Roma, em 1554, é coevo do início das obras de S. Gonçalo de Amarante de Romero. Por outro lado, da literatura consultada, não se detetou nenhuma referencia que cruzasse os intervenientes nas igrejas jesuítas com Romero e D. Miguel Silva (“primeiro verdadeiro homem do Renascimento”). Posto isto, resta-nos considerar possível a possibilidade de ter havido contato, sem se poder afirmar qual o “original”, ou considerar que houveram vias independentes para se chegar a concepções espaciais próximas.

Rafael Moreira alude ainda a outros focos regionais dum primeiro momento renascentista em Portugal, ainda que menos relevante faz referência a André Pilarte, que havia trabalhado na obra do Mosteiro dos Jerónimos, responsável pelas matrizes de Alcoutim e Moncarapacho e a igreja da Misericórdia de Tavira (c. 1549).

Um momento contranatura ao movimento italianizante ocorre a partir da década de 1550, e com o apoio de D. João III, pela construção de um conjunto de — p. ex. Miranda do Douro,

---

<sup>240</sup> Na igreja de S. Roque, a hesitação pela adopção da composição em nave única dá-se em 1555, um ano após o início dos trabalhos. Ou seja, o traçado trazido pelo P. Manuel Godinho de Roma é coevo da igreja do início das obras de S. Gonçalo de Amarante de Romero.

Leiria e Portalegre — com uma configuração espacial devedora das igrejas-salão, com coberturas abobada de ogiva e decoração austera indicando um registo resistente a influências das novas tipologias Clássicas das propostas italianas. Este facto denota a não existência de um modo único, mas uma visão eclética da arquitetura portuguesa desses anos e que se sintetiza na discussão de partidos para a igreja de São Roque, como se retrata mais adiante.

### 5.2.2. O *modo nostro* jesuíta como modelo arquitetónico

A arquitetura portuguesa do período da Contrarreforma é marcada pelo surgimento e expansão da Companhia de Jesus<sup>241</sup> nos territórios de influência portuguesa, a história de ambas é indissociável, por este motivo antes de se estabelecer um enquadramento historiográfico das igrejas jesuítas de S. Roque, do Espírito Santo e S. Lourenço — exemplos considerados estudos de caso nesta tese —, é relevante retratar, ainda que brevemente, o modo como a Companhia de Jesus estabelece um protótipo normativo próprio para a edificação das suas igrejas que se articula com a composição espacial presente na obra teórica e construída de Alberti.

Na I Congregação Geral da Companhia, reunida em 1558, são propostas normas para a composição interna das igrejas no sentido de fomentar a unidade espacial e visual nos rituais litúrgicos e atos de comunicação com os fiéis. Denominadas de *modo nostro*, no essencial estas regras requerem que o espaço seja amplo, sem obstáculos que limitem a compreensão do orador, bem como a existência de circulações secundárias que permitam o atravessamento da igreja sem perturbar um ou mais atos que estivessem a ocorrer em simultâneo. Estas características são implementadas na igreja da Casa Mãe da Companhia, *Il Gesù* de Roma. Razão, para ser considerada um modelo, no que diz respeito à disposição espacial e funcionalidade. Não obstante, na opinião de Martins Sanches Fausto (2014, p. 20), ao contrário do que a expressão “fiscalização centralista romana” possa indicar, o *modo nostro*, não terá funcionado como modelo rígido e de gosto, mas como normas “aplicadas com flexibilidade e adaptadas à evolução das formas artísticas de cada época, meio geográfico e tradições locais.”, como impulsionador de uma inovação “estilística” dos edifícios religiosos (Martins F. S., 2014, pp. 113-114).

---

<sup>241</sup> A Companhia de Jesus foi fundada em 1534 por Ignacio Loyola, sendo reconhecida em 1540 por bula concedida pelo Papa Paulo III. Com objetivos missionários nesse mesmo ano chegam a Portugal dois Jesuítas, também fundadores da Companhia - o espanhol Francisco Javier e o português Simão Rodrigues. Rapidamente se instalaram nas principais cidades portuguesas através da criação de colégios erigidos de raiz ou, pela transformação de edifícios existentes. Primeiro, em 1542, no contexto académico de Coimbra, culturalmente favorável, depois, em Lisboa e Évora (1553), Braga e Porto (1560) prolongando-se em paralelo por todo o espaço de influência portuguesa desse período (ver a síntese de Gomes & Lobo, 2012, pp.497-498).

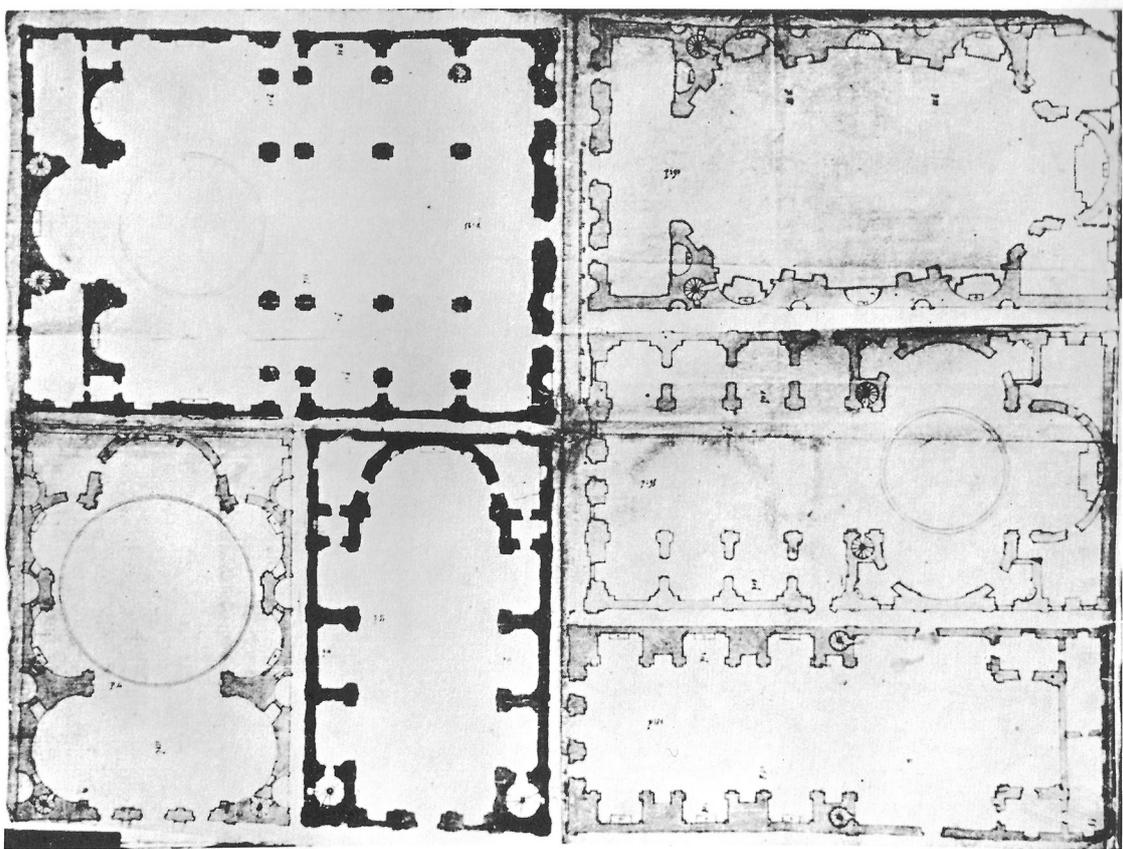


Figura 141. Série tipológica de plantas-modelo de igrejas Jesuítas, atribuído a Giovanni De Rosis (c.1580). Propriedade da *Biblioteca Estense*, Modena. Fonte: (Wittkower & Jaffé, 1972, p. 4b).

A partir da II Congregação Geral, reunida em 1565, passou a ser obrigatório o envio dos projetos dos colégios e igrejas de outras províncias para exame e aprovação da Cúria Generalícia, a qual, não raras vezes, rejeitava e reformulava os projetos (Pirri, 1955, p.41-40)<sup>242</sup>. Ainda nesta Congregação, foi solicitada a realização de um *corpus* de projetos para igrejas e colégios designado de *traças comuns*, com o propósito de serem disponibilizados aos arquitetos locais. Esta série tipológica teria o objetivo de agilizar o processo de validação dos projetos desenvolvidos nas províncias, colmatando problemas de lentidão na troca de correspondência entre Roma e as províncias distantes<sup>243</sup>. Giovanni De Rosis, arquiteto jesuíta, terá produzido a série tipológica de plantas-modelo (Patetta, 2003, p. 393;

<sup>242</sup> Segundo Pietro Pirri, Giovanni Tristano, arquiteto da Cúria Generalícia entre 1558 e 1575, foi responsável pela examinação e correção dos projetos submetidos pelas províncias, estendendo a sua influência para além de Itália. A este propósito consultar: Pirri, Pietro (1955). *Giovanni Tristano e i Primordi della Architettura Gesuitica*. Roma: Institutum Historicum S.J. In, Santos, P. F. (1966). Contribuição ao estudo da arquitetura da Companhia de Jesus em Portugal e no Brasil. Actas V Colóquio Internacional de Estudos Luso-Brasileiros. IV, pp. 515-569. Coimbra, 1963: Gráfica de Coimbra.

<sup>243</sup> Em 1574, com a abolição da obrigatoriedade de avaliação da Cúria Generalícia, as abordagens de projeto adquirem um ecletismo proveniente de adaptações mais livres ao contexto local. Este facto não desfaz a influência dos modelos de projeto que circularam nesses anos, relativamente a projetos mais tardios.

Wittkower, 1972, p. 7)<sup>244</sup>. A Figura 141 ilustra um *corpus* de seis plantas dessa série. A diversidade morfológica destas plantas reforça a ideia de que a uniformização do esquema compositivo das igrejas não seria a principal preocupação jesuíta, mas a adequação ao *modo nostro* e contexto local.

Com efeito, a maioria das soluções apresenta uma nave única de dimensões médias, não obstante uma delas ser composta por três naves. Todas elas têm capela-mor de largura igual à nave (central) — cinco de geometria semicircular e uma retangular. Em todas, se abrem capelas nas laterais — três de cada lado, à exceção de uma solução com quatro —, verifica-se ainda que são variáveis a geometria (retangular ou semicircular), as proporções e as ossaturas. Em três plantas deste *corpus* existe um transepto inscrito no cruzeiro e, apenas uma dispõe de vestíbulo que antecede a entrada na nave.

Desta série, a planta situada no canto inferior direito da Figura 141 destaca-se pela semelhança compositiva da modulação de capelas laterais e contrafortes, relativamente às plantas das igrejas de Sant'Andrea, Mântua, e *Il Gesù*, Roma. Este esquema, como se verá mais adiante, também está presente em igrejas portuguesas edificadas no período da Contrarreforma. Todavia, apesar da similitude compositiva, não existem evidências documentais que comprovem cabalmente o influxo albertiano no delineamento das plantas-modelo jesuítas, nem mesmo em *Il Gesù*, nem nos de edifícios portugueses.

No contexto desta investigação, importa referir que o universo de soluções de projeto das gramáticas de forma, apresentadas nos capítulos 3 e 4, é constituído por plantas representativas deste esquema. No mínimo, este facto sugere que, tanto o *De re aedificatoria*, como a obra construída de Alberti, poderão ser referentes da cultura arquitetónica para modelos posteriores.

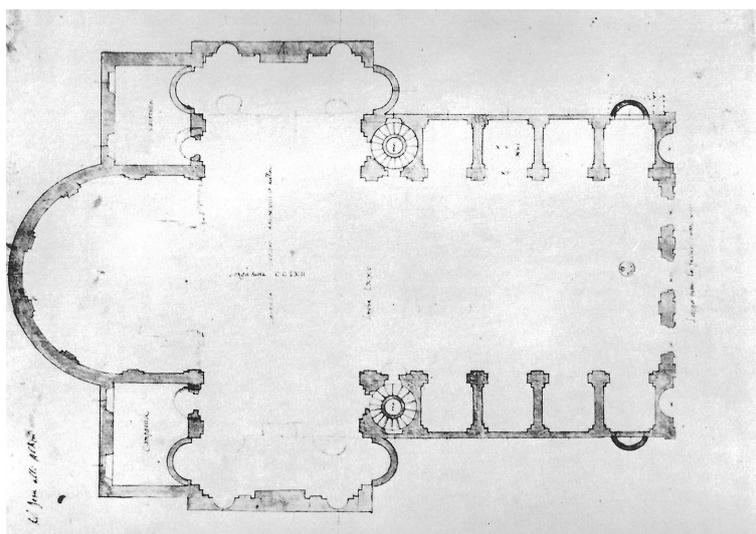


Figura 142. Planta de projeto para *Il Gesù*, Roma (c. 1550), não realizado, possivelmente de Nanni di Baccio Bigio. Propriedade da *Galleria degli Uffizi*, Florença. Fonte: (Wittkower & Jaffe, 1972, p. 7b).

<sup>244</sup> Segundo Wittkower (1972, p.7, n.20), em 1575, Giovanni De Rosis assumiu uma posição de liderança na Companhia, que se prolonga até à sua morte em 1609. Este autor, refere ainda que a série tipológica de plantas-modelo poderá ser mais ampla, sendo este conjunto, apenas um núcleo de exemplos.

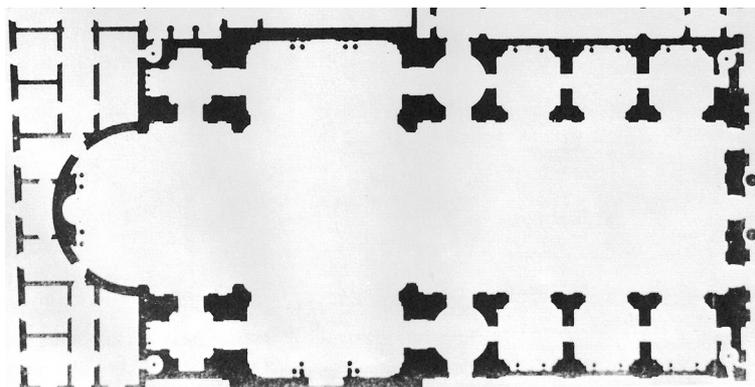


Figura 143. Planta de *Il Gesù*, Roma (1568), atribuída a Giacomo Vignola. Fonte: (Wittkower & Jaffe, 1972, p. 8).

A construção de *Il Gesù* de Roma inicia-se em 1568 segundo projeto de Giacomo Vignola (1507-1573)<sup>245</sup> (Figura 143). Porém, versões anteriores de c.1550 (Figura 142) atribuídas ao arquiteto jesuíta Nanni di Baccio Biggio (Pirri, 1955, p.41-40; Ackerman, 1972, p.18) assemelham-se à versão da autoria de Vignola.

Se alguns autores identificam *Il Gesù* como arquétipo, não apenas das igrejas jesuítas, mas também das igrejas de planta de cruz latina — com nave única e abertura de capelas nas laterais —, outros autores, advertem para o facto da composição de *Il Gesù* não ser inovadora na concepção de um espaço de culto mais amplo e uno, muito embora, graças à rápida disseminação missionária da Companhia de Jesus, se tornasse fulcral na fixação e difusão do modelo.

### 5.2.3. As igrejas de São Roque e do Espírito Santo

“A importante correspondência entre os reitores e os funcionários da Companhia de Roma não refere assuntos de estilo. A tendência dominante do desenho das igrejas jesuítas mostra, contudo, uma tendência comum, mais que uma estratégia deliberada, para criação de espaços de carácter homogéneo e funcional, com naves principais simples e capela-mor contrastante, claramente visíveis de qualquer ponto da igreja. Portugal, como qualquer outra província jesuíta, compartilhou este impulso no sentido da simplicidade funcional e levou-o a um limite absoluto, condicionado pelas restrições económicas, o qual veio caracterizar em Portugal o *estilo chão*. Mas não pode afirmar-se que a Companhia tenha imposto um estilo uniforme ou que existia um estilo próprio a impor pela Companhia.” (Kubler, 2005, p. 81)

Gomes e Lobo (2012) consideram a existência de uma tipologia portuguesa de igrejas jesuítas plasmada na igreja da Casa Professa de Lisboa (São Roque)<sup>246</sup> e na igreja do Colégio do Espírito Santo,

---

<sup>245</sup> Após a morte de Vignola, Giacomo della Porta (1532-1602) ficou com o encargo do projeto da fachada e conclusão do projeto.

<sup>246</sup> A primeira casa da Companhia de Jesus a instalar-se em Portugal terá sido no Colégio de Santo-Antão-o-Velho (c. 1542), seguindo-se, em 1553, a instalação da igreja da Casa Professa de Lisboa na ermida de S. Roque (Machado, 2005).

Évora. Salientando a contemporaneidade destas igrejas com o modelo da igreja da Casa Mãe de Roma, *Il Gesù*, iniciada em 1568 (de acordo com projeto de Vignola).

Independentemente das igrejas de São Roque e do Espírito Santo se estabelecerem como arquétipos generalizados das igrejas jesuítas portuguesas, ou serem sucedâneas de outras<sup>247</sup>, ou ambos, é reconhecido o papel destas igrejas na vinculação a princípios compositivos característicos da arquitetura religiosa portuguesa deste período.

De acordo com Paulo F. Santos (1963, pp. 515-517) a correspondência de jesuítas portuguesas para Roma demonstra terem sido realizadas quatro versões de projetos para a igreja de S. Roque.

O projeto inicial, de autoria e origem desconhecidas, teria três naves, sendo rejeitado e substituído por um segundo projeto, ou simples modelo, trazido de Roma pelo P. Manuel Godinho em 1554, que preconizava uma igreja de nave única. No ano seguinte, já após ter-se iniciado a construção dessa versão do projeto, são levantadas dúvidas sobre a capacidade de resistência da estrutura da cobertura para vencer o vão de 80 palmos<sup>248</sup> da nave única. Por esta razão, houve um recuo ao partido da solução das três naves, que teria como referência a igreja de Valladolid. Finalmente, c.1569<sup>249</sup>, já a obra estava em trabalhos avançados, por insistência do P. Manuel Godinho e, com apoio do Cardeal D. Henrique e de Afonso Álvares, voltar-se-ia à solução de nave única (Figura 144). Este último, mestre de obras do Rei, terá ficado responsável pela introdução das modificações necessárias aos trabalhos em andamento para adopção do modelo de nave única<sup>250</sup>.

Kubler (2005, p. 86) considera que esta mudança assinala “um desvio no gosto arquitetónico da corte portuguesa, que prefere agora as igrejas criptocolaterais às igrejas-salões.” A este ponto de vista acresce que os projetos de Nanni di Baccio Bigio para *Il Gesù* de Roma (c. 1550-55), bem como, o modelo romano para a igreja de São Roque, chegado a Lisboa em 1554 e, retomado em 1569, precedem o estabelecimento do *modo nostro*, na I Congregação Geral, realizado em 1558. Esta circunstância enquadra São Roque como contemporâneo do momento de fixação da tipologia de *Il Gesù*, e mais relevante ainda, para o argumento da originalidade de São Roque, é o facto da sua composição interna não ser exatamente correspondente aos modelos executados para a igreja romana.

---

<sup>247</sup> Fausto Sanches Martins contesta o cunho de protótipo à igreja da Casa Professa de Lisboa justificando a existência de edifícios jesuítas precedentes (2014, p. 20).

<sup>248</sup> Um palmo corresponderia a 22 cm (Barroca, 1992, p. 54) pelo que estaria em causa a capacidade de sustentação de um vão de 17,6m.

<sup>249</sup> Conforme publicado por Santos (1963, pp. 521-522) numa carta enviada pelo P. Miguel Torres, ao P. Francisco de Borja (que fora um dos principais colaboradores de Ignacio de Loyola), datada 14 de Maio de 1569, é solicitada a vinda de Giovanni Tristano, arquiteto da Cúria Generalícia, a Portugal, com a finalidade de auxiliar à resolução da contenda relativa à composição de S. Roque, sugerindo ainda que, aproveitasse a ocasião para “ver también el edificio de Coymbra que se quiere començar, y la iglesia de Evora que se haze”

<sup>250</sup> De acordo com Paulo Pereira, Afonso Álvares terá estado ativo entre 1500 e 1575 (2011, p.579).

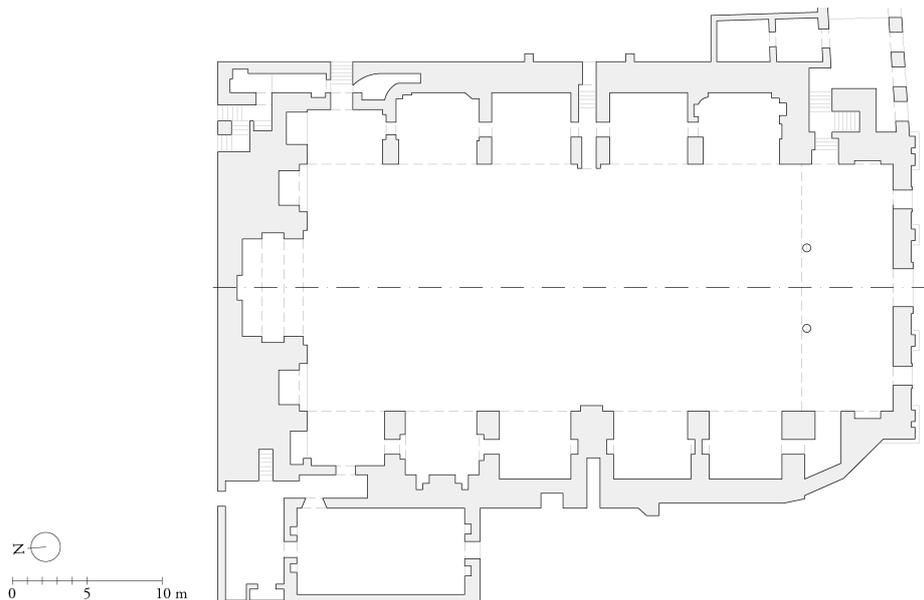


Figura 144. Planta da igreja de São Roque. Fonte do desenho base: (Pais & Mantas, 2010).

As obras da igreja do Espírito Santo, Évora, iniciam-se a 4 de Outubro de 1566, portanto, antes das obras da sua congénere de Lisboa reatarem na versão de nave única. E, ao contrário desta, as obras decorrem sem percalços, terminando em 1570, vinte anos antes do termo da construção de S. Roque (1590).

O cardeal D. Henrique aspiraria a que a igreja jesuíta de Évora igualasse em grandeza a igreja de S. Francisco de Évora. É consensual, que a galilé e as capela laterais intercomunicantes são uma herança local desta igreja tardo-gótica. Paulo Pereira (1992, p. 106; 2011, p. 580), lança a hipótese de ter sido Manuel Pires<sup>251</sup> o responsável pela articulação do modelo local, com as diretrizes jesuítas e a disposição espacial do modelo que o P. Miguel Godinho trouxera de Roma, como referência para a igreja de S. Roque (entretanto, ainda não edificada).

Kubler (2005, p. 84), a propósito da participação de Manuel Pires na traça da igreja de Évora, sugere que a expressão “desornamentada” da igreja, algo atípico em Portugal, é influencia do Escorial, que este autor supõe ter sido visitado por Pires. Acrescenta ainda que, o possível processo de importação de valores externos não desvinculou a traça da igreja do Espírito Santo de uma linguagem portuguesa. E por esta razão, no quadro da arquitetura religiosa portuguesa, antecipa-se a uma “corrente posterior de emulação e imitação.”<sup>252</sup>

<sup>251</sup> Segundo Paulo Pereira, Manuel Pires foi mestre de obras da igreja do Espírito Santo entre 1566 e 1570, ano da sua morte, sucedendo-lhe Afonso de Álvares nesse mesmo ano. Por outro lado, Rui Lobo, em artigo recente (2014, p.239-241), secundariza a participação de Manuel Pires na obra do Espírito Santo – *papel mais “prático” do que projectista*, relativamente à figura principal de Afonso Álvares. Lobo, faz ainda referência à participação de Diogo Torralva, à época *Mestre-de-obras da Comarca do Alentejo e Paços de Évora*, citando, a tese de doutoramento de: Ruão, Carlos (2006). *“O Eupalinos Moderno” : teoria e prática da arquitectura religiosa em Portugal : 1550-1640*. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra,. Vol. II, p.91.

<sup>252</sup> A este propósito ver: (Pereira P. , 1992, p. 106).

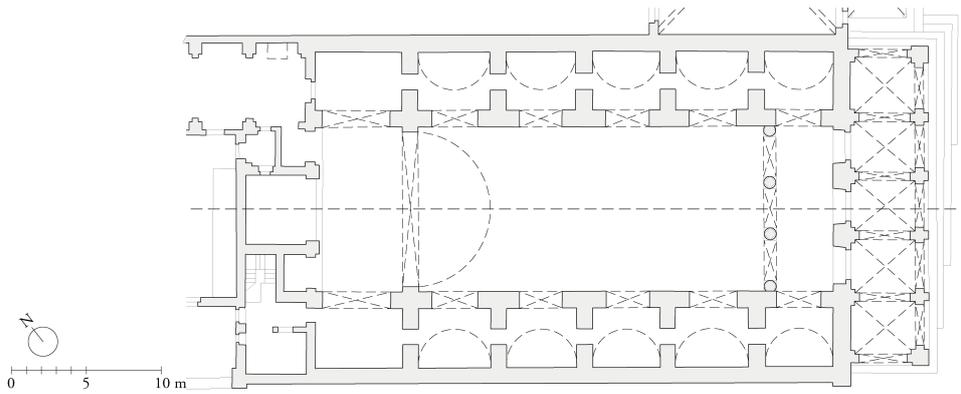


Figura 145. Planta da igreja do Espírito Santo, Évora. Fonte do desenho base: (Jared Fantasia, Departamento de Arquitectura, Universidade de Évora)

Internamente, as igrejas de São Roque e do Espírito Santo partilham o mesmo esquema compositivo, caracterizado pela nave única retangular com a abertura de uma capela-mor no alçado da cabeceira e por laterais que albergam capelas intercomunicantes, sobre as quais se abrem tribunas. Superiormente têm uma marcação horizontal, isto é, um entablamento que percorre o perímetro interno da nave junto do arranque do tecto. Todavia, identificam-se quatro aspetos em que se acentuam diferenças entre as duas igrejas.

(1) O tecto da igreja de Lisboa é plano e, na igreja de Évora, a nave é coberta por uma única abóbada de berço.

(2) Nas laterais do Espírito Santo abrem-se cinco capelas, mais uma, mais larga, que se eleva acima das outras, até à cornija de arranque da abóbada, conformando um falso transepto. Na igreja de S. Roque existem igualmente cinco capelas laterais, em que a última é menos profunda e tem a mesma altura das restantes<sup>253</sup>.

(3) A igreja de Évora apresenta paramentos mais amplos entre as aberturas das capela laterais — ossaturas, onde são escavados pequenos confessionários.

(4) As tribunas da igreja de S. Roque são, na realidade, janelas que iluminam o espaço interno, ao passo que, na igreja do Espírito Santo, existe um sistema interno de acesso às tribunas, composto por galerias altas situadas sobre as capelas laterais. Gomes e Lobo (2012, p. 501), sugerem que a disposição das tribunas e galerias da igreja do Espírito Santo, à semelhança do que ocorre em *Il Gesù*, cuja obra decorreu entre 1568 e 1577, ainda que a sua presença seja mais modesta nos alçados da nave.

<sup>253</sup> A respeito da composição interna da igreja de São Roque importa referir o artigo de Rui Lobo (2014, p.247-252), recentemente publicado, do qual se teve conhecimento já no período final de redação deste trabalho, pelo que não foi considerado na análise da morfologia e proporções da planta desta igreja. Neste artigo, Lobo levanta a hipótese da composição de cinco capelas nas laterais de São Roque, conforme hoje se conhece, resultar de uma intervenção de Balthazar Telles no século XVII, que adiciona os dois pares de capelas do sector dianteiro. Perante esta hipótese, e à falta de evidências suficientes para compreender a relação entre o projeto do século XVI e as alterações do século XVII, Lobo coloca a seguinte questão: *Estaria o projecto idealizado na década de 1560 terminado? Ou estaria ainda a meio caminho o processo de construção da nova igreja sobre a antiga?*



Figura 146. Lisboa, frontaria da igreja de São Roque.



Figura 147. Évora, frontaria da igreja do Espírito Santo. Fonte: (Oliveira T. , 2014, p. 124).



Figura 148. Lisboa, vista panorâmica do interior da igreja de São Roque.



Figura 149. Évora, interior da igreja do Espírito Santo, vista da nave, direção da cabeceira. Fonte: Courtauld Institute of Art.



Figura 150. Évora, interior da igreja do Espírito Santo, vista do coro alto. Fonte: (Oliveira T. , 2014, p. 124).

Aqui sinteticamente retratadas, a igreja de São Roque e a igreja do Espírito Santo, são obras intrínsecas à história da arquitetura portuguesa da Renascença, por constituírem exemplos iniciadores do *impulso* local, que ultrapassa o próprio movimento arquitetónico jesuíta, contribuindo para uma definição ampla do *estilo chão*<sup>254</sup> português.

#### 5.2.4. A igreja jesuíta de São Lourenço

A igreja de Santo Antão-o-Novo (1613-53) de Lisboa, demolida no final do século XIX, a Sé Nova de Coimbra (1598) e a igreja de São Lourenço (1614) do Porto, constituem um *corpus* de igrejas da Companhia de Jesus edificadas no final do século XVI e início do século XVII, cujas formulações são representativas da substituição de modelos de génese nacional, por aproximação a princípios compositivos da igreja da Casa Mãe romana, *Il Gesù*. Segundo Gomes e Lobo (2012, p. 503) este influxo concretiza-se no delineamento de planta de cruz latina abobadada, no transepto inscrito, na interrupção da cornija da nave e na possibilidade de circulações secundárias através de capelas laterais comunicantes.

Nestas três igrejas, os braços transversos inscritos têm proporções claramente maiores (altura e largura) do que, por exemplo, o transepto da igreja do Espírito Santo. Do mesmo modo, as capelas-mores, apresentam proporções superiores às suas duas igrejas anteriores, traduzindo-se no aumento da escala destes espaços. Existe ainda a monumentalização dos alçados das laterais pela redução do número de capelas laterais a favor do aumento da largura das ossaturas. Este alargamento permitiu acentuar a modulação espacial das capelas, bem como, o emparelhamento de pilastras, que se prolongam até ao entablamento superior das paredes perímetro da nave e transepto, conformando um pórtico de arquivada semelhante ao de Sant'Andrea.

No âmbito deste subcapítulo desenvolve-se o estudo da igreja de São Lourenço em detrimto das igrejas de Coimbra e Lisboa, referidas mais acima. São simples os argumentos para esta escolha. Excluiu-se a igreja de Santo Antão-o-Novo, cujo desaparecimento no século XIX e escassa documentação gráfica, restringe o conhecimento das suas características espaciais. Destas três igrejas, a Sé Nova de Coimbra é a única composta por quatro capelas laterais, contrariando, à partida um dos pressupostos mais característicos dos princípios albertianos para a sua disposição: serem em número ímpar. Por este motivo, dá-se preferência à igreja de São Lourenço, onde existem três capelas, em cada uma das laterais. Esta igreja, vulgarmente conhecida por igreja do Grilos<sup>255</sup>, foi extensamente estudada pelo P. Fausto Sanches Martins na sua tese de Doutoramento (1994) e no livro *Jesuítas de Portugal 1542-1759* (2014) recentemente publicado. Seguem-se ainda os relatos de outros autores, que reuniram conhecimento historiográfico adicional e um enquadramento geral desta igreja no contexto da produção arquitetónica religiosa portuguesa (Kubler, 2005, pp. 108-109; Soromenho, 1995b, pp. 383-386; Pereira P. , 2011, p. 509; Gomes & Lobo, 2012, p. 506).

---

<sup>254</sup> Ver Kubler (2005, p. 81).

<sup>255</sup> Após expulsão dos Jesuítas em 1759, o colégio e igreja de São Lourenço foram vendidos aos Agostinhos Descalços, mais conhecidos por frades Grilos.

Segundo a cronologia das obras de S. Lourenço reunida por Martins (2014, pp. 27-45), em Julho de 1571, o arquiteto jesuíta Silvestre Jorge fica com a incumbência de fazer o levantamento do local para construção do novo colégio e igreja, bem como a responsabilidade de execução do respetivo projeto. Após “troca epistolar entre a casa portuense e a casa de Roma”, as obras iniciaram-se em Agosto de 1573, sendo interrompidas no ano seguinte por contratempo na abertura das fundações. As obras do Colégio terão reatado em 1579, com o intuito da mudança da Comunidade para os novos aposentos. Em 1595, ainda se descrevia a abertura de caminho para tornar mais fácil o acesso à futura igreja. Nesta cronologia, poder-se-á supor que as obras da igreja iniciaram-se apenas em 1614, momento em que o Colégio angaria Frei Luís Álvares de Távora como *Fundador absoluto*. Finalmente, em 1627, há registo da abertura da igreja ao público, em cerimónia de transladação de ossadas de confrades e benfeitores para a igreja do novo Colégio. Após descrições de trabalhos no retábulo da capela-mor (1642 e 1644), entre outros, as obras da fachada são datadas entre 1690 e 1709, assinalando o ultimato dos trabalhos na igreja, incluindo as duas torres sineiras e janelas terminais no cruzeiro, com exceção para o “remate das torres, aos frontões centrais e a todo o conjunto de elementos decorativos de pináculos, bolas, cruzes.” (Martins F. S., 2014, pp. 27-45).

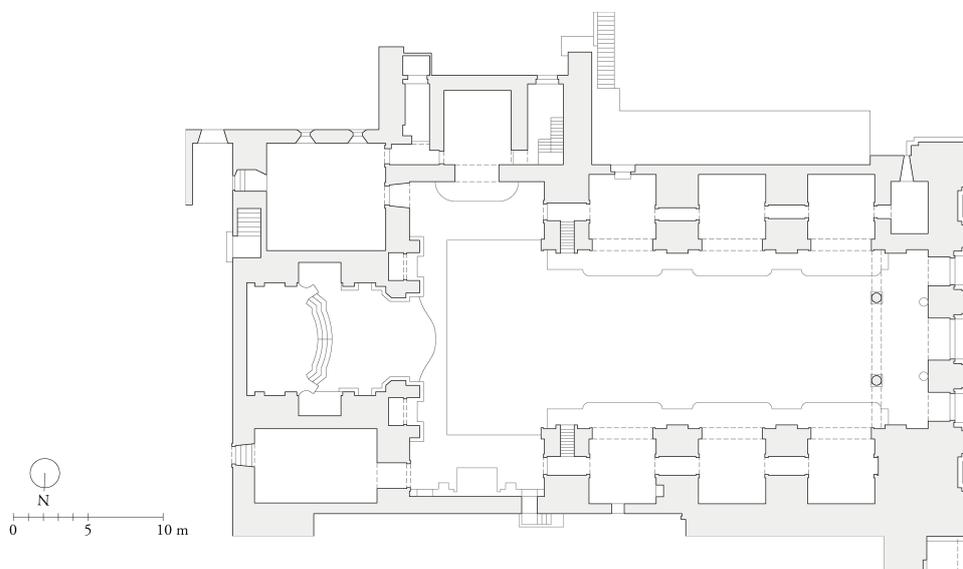


Figura 151. Planta da igreja de São Lourenço, Porto. Desenho do autor, a partir de desenho do Sistema de Informação para o Património Arquitectónico.

Na cronologia apresentada por Martins, apenas Silvestre Jorge (falecido em 1608) é referido como figura autoral do projeto do Colégio e igreja. Perante o extenso arco temporal em que a obra se desenvolve, esta informação é claramente escassa. Segundo Kubler (2005, pp. 108-109) a autoria do projeto da igreja de São Lourenço tem sido associada a Baltasar Álvares (ativo entre c. 1575-1624) apesar da falta de evidências documentais que o comprovem. Este argumento, deslindado por Reynaldo dos Santos<sup>256</sup>, assenta no facto de Baltasar Álvares ter estado encarregue de obras em Lisboa, entre 1579 e inícios do século XVII, entre as quais, se incluem as igrejas de Santo Antão-o-Novo e

<sup>256</sup> Conforme Kubler (2005, p. 109, n.40), que remete para: Reynaldo dos Santos, *O Porto Barroco*, Porto, 1952, 7-8, citando Manuel Pereira de Novais, *Anacrisis Historial*. Porto, 1912-13, 2 vols.

São Vicente de Fora. Não existindo registo da sua atividade após 1609, o argumento de Reinaldo dos Santos, admite que Álvares terá ficado encarregue da obra de S. Lourenço a partir de 1617, momento em que pensa ter iniciado a construção da igreja. Este argumento estende-se ainda à atividade de Álvares na igreja do Carmo no Porto, à Sé Nova de Coimbra e, às igrejas do Desterro e das Trinas em Lisboa.



Figura 152. Porto, vista panorâmica do interior da igreja de São Lourenço. Fonte: SIPA, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana.



Figura 153. Porto, frontaria da igreja de São Lourenço. Fonte: SIPA, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana.



Figura 154. Porto, igreja de São Lourenço, vista da nave, direcção da cabeceira. Fonte: SIPA, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana.

Um dos elementos que diferencia o espaço interno da igreja de S. Lourenço da igreja de S. Vicente de Fora é o facto de a cobertura do cruzeiro não se realizar por uma cúpula, mas através de uma abóbada de nervuras de cruzeiro. Nesse sentido, S. Vicente de Fora adopta a mesma solução de *Il Gesù* e também presente em Sant'Andrea em meados do século XVIII, após construção da enorme cúpula no cruzeiro, de acordo com projeto de Juvarra.

As semelhanças da monumental fachada da igreja de São Lourenço, relativamente às fachadas da igreja de Santo Antão-o-Novo e da Sé Nova de Coimbra, reforçam o argumento da autoria de Baltasar Álvares. Como mencionado, estas igrejas partilham aspetos relativos à sua composição interna, sendo devedoras de *Il Gesù*. Similarmente, conforme explicitado por Soromenho (1995b, p.

385), estas fachadas denotam “um tipo de organização de alçado que se refere sem dúvida a inúmeros modelos italianos coevos e, sobretudo, aos acrescentos introduzidos por Giacomo della Porta, entre 1575 e 1584, ao protótipo vignolesco do Gesù(...)”.

#### 5.2.5. A igreja *filipina* de São Vicente de Fora

A história da igreja e mosteiro de São Vicente de Fora remonta a 1147, altura em que D. Afonso Henriques ordena a construção de uma ermida fora dos limites da cidade de Lisboa, como cumprimento de um voto ao mártir São Vicente pelo sucesso da conquista de Lisboa (Real, 1995, p. 14). Após fundação da ermida, seguiu-se a construção de um mosteiro de cónegos regrantes e, em 1582, a mando de Filipe II de Espanha, primeiro de Portugal, inicia-se a reedificação de todo o conjunto.

A igreja de São Vicente de Fora e o Paço da Ribeira constituem as obras mais emblemáticas do reinado de Filipe II em Portugal. Mesmo antes da entrada do Duque de Alba em Portugal, Filipe II, terá chamado arquitetos e engenheiros ao serviço do reino de Portugal para tratar de assuntos relacionados a empreendimentos na coroa. O empenho político de Filipe II, na edificação de obras representativas da sua presença em Portugal teria o objetivo de materializar simbolicamente os compromissos feitos nas Cortes de Tomar (1581). Dai a edificação do Paço da Ribeira, um palácio real e, em São Vicente de Fora, um panteão real, tal como o Escorial (Soromenho & Saldanha, 1994, p. 208; Soromenho, 1995a, pp. 24-26).

A primeira pedra de São Vicente de Fora foi lançada a 25 de Agosto de 1582, na data do segundo aniversário da batalha de Alcântara. Parece consensual a atribuição da autoria do projeto de S. Vicente de Fora a diversos autores. O projeto geral, pensa-se ser da autoria de Juan de Herrera<sup>257</sup>, o arquiteto mais relevante do reinado de Filipe II em Espanha, que se deslocaria de Madrid para Lisboa entre 1580 e 1583

Um segundo protagonista foi o arquiteto italiano Filipe Terzi, de Bolonha, chegado a Portugal no período de D. Sebastião, terá colaborado com os castelhanos, nomeado arquiteto régio em 1590, sucedendo a António Rodrigues. Como responsável por diversos projetos de engenharia e arquitetura da coroa, em S. Vicente de Fora, Terzi terá dado o seu aval a diversos planos, executado as “traças operativas” (Soromenho & Saldanha, 1994, p. 210) e conduzido a obra até 1597.

O arquiteto português Baltasar Álvares sucede Terzi, mantendo-se na condução da obra até 1624, ano da sua morte. A este arquiteto são atribuídos aspetos de detalhe de composição do conjunto, bem como o desenho da fachada que inclui a inserção e duas torres alinhadas no seu limite.

---

<sup>257</sup> “(...) Na distribuição de responsabilidades projectivas, a parte de Herrera aparece mesmo desvalorizada e, além da familiaridade do esquema planimétrico de integração do cruzeiro e da colocação de torres nos eixos das capelas laterais como noutras obras do arquitecto castelhano, nada mais se aproxima aqui do seu característico e rigoroso classicismo.” In Soromenho (1995b, p. 379), a partir de: Bustamante García, A. (1994). Juan de Herrera, El Escorial y la Catedral de Valladolid. In *Tiempo y espacio en al arte : homenaje al profesor Antonio Bonet Correa* (Vol. 1, pp. 415-432). Madrid: Editorial Complutense.

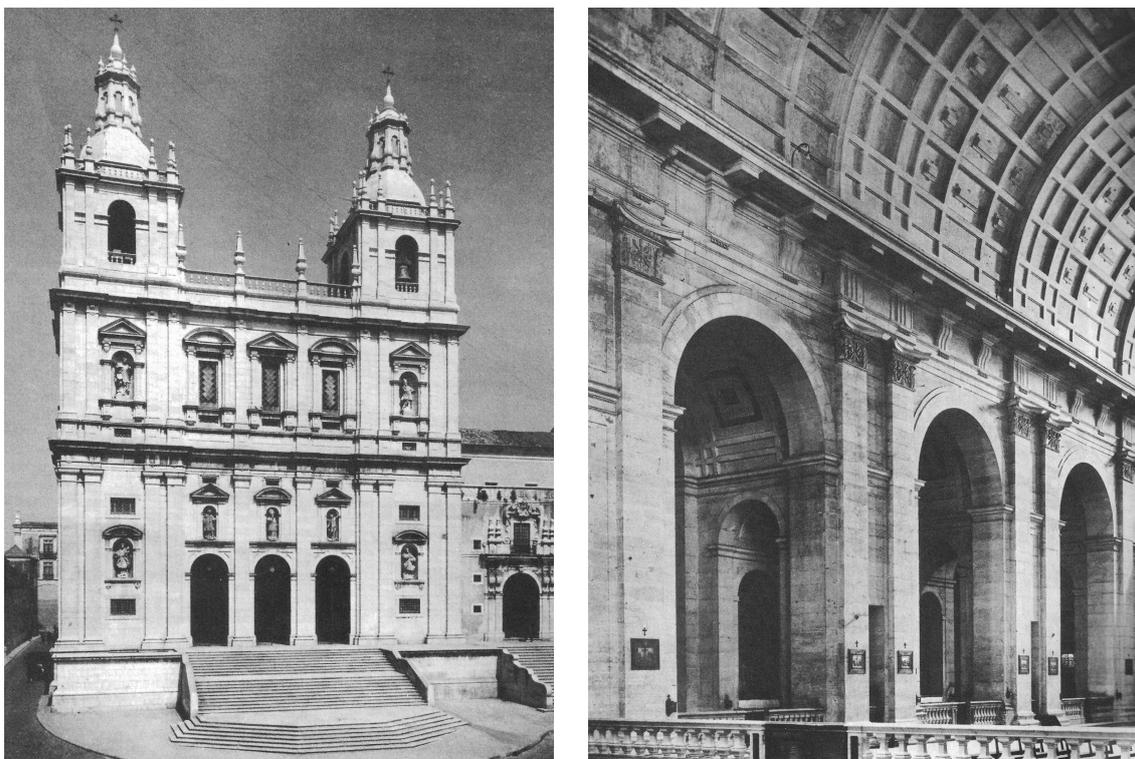


Figura 155 e Figura 156. Lisboa, frontaria e interior da nave da igreja de S. Vicente de Fora, fotografias de Mário Novais. Fonte: (Kubler, 2005, foto. 45-46).

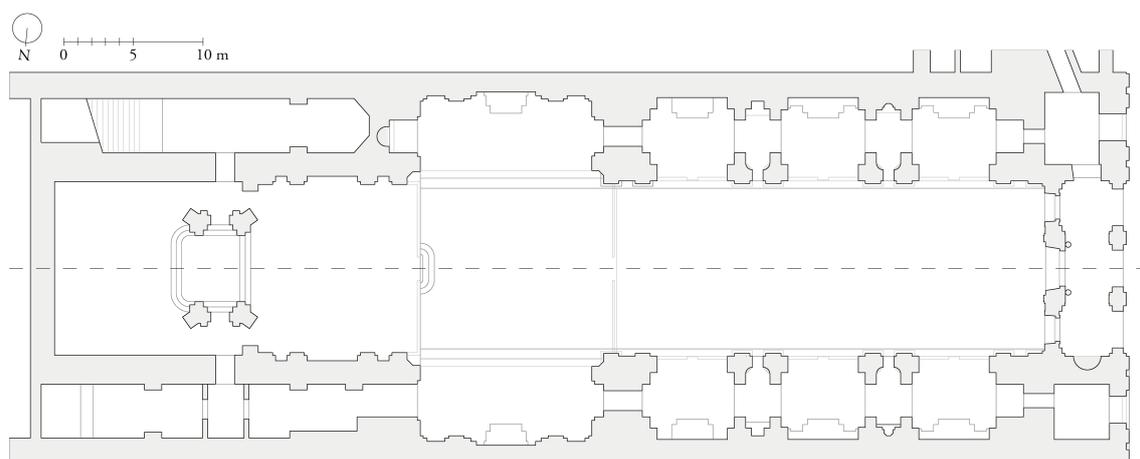


Figura 157. Planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa. Fonte: projeto Alberti Digital.<sup>258</sup>

<sup>258</sup> No âmbito do projeto *Alberti Digital*, o arquiteto Filipe Coutinho (FCTUC) e o Professor Luís Mateus (FAUTL), realizaram um levantamento terrestre a laser (*Terrestrial Laser Surveying - TLS*) da igreja de São Vicente de Fora (Coutinho, 2014). Este levantamento originou um conjunto de 28 nuvens de pontos (*Point Cloud Model - PCM*) representativos do espaço, tendo sido posteriormente alinhados e processados de modo a produzir um modelo de malha tridimensional. Pelo recurso ao software *JRC 3D Reconstructor* (da empresa *Gexcel - Geomatics & Excellence*), utilizado no tratamento de nuvens de pontos, foi gerado um conjunto de representações em planta e seção da igreja de São Vicente de Fora. São esses desenhos que serviram de base à planta apresentada neste trabalho.

Na concepção geral do espaço interno da igreja de S. Vicente de Fora denotam-se aspetos compositivos de Sant'Andrea, e ainda, de *Il Gesù*. Destes aspetos destacam-se a planta longitudinal de nave única com laterais onde se abrem três pares de capelas intercomunicantes, o transepto inscrito e capela-mor profunda. A nave e a capela-mor são cobertas por abóbadas de berço com marcação de caixotões. O cruzeiro, iluminado por janelas termiais nos braços transversos e, à semelhança das igrejas citadas, era rematado por cúpula que ruiu no terramoto de 1755 (Soromenho, 1995b, pp. 379-380), incluindo zimbório, nunca repostado, que se destacaria na paisagem urbana de Lisboa. Tal como nas igrejas antecedentes, nas laterais, as ossaturas das capelas são ornamentadas por pilastras emparelhadas<sup>259</sup> que se erguem até ao entablamento de arranque da abóbada (Kubler, 2005, p. 107).

Um dos aspetos que mais diferencia a planta e a espacialidade de S. Vicente de Fora das igrejas italianas referidas é a acentuação da profundidade da capela-mor pela presença de um retrocoro<sup>260</sup>. Kubler (2005, p. 106) associa o delineamento de um retrocoro que penetra o retábulo, bem como, o pórtico nártex junto do frontispício, a um influxo Palladiano na obra de Herrera.

A fachada destaca-se pela sua monumentalidade, para a qual contribuem os volumes de planta quadrada das torres sineiras adossados ao frontispício. A integração das torres no pano do frontispício, provavelmente da autoria de Baltasar Álvares, corresponde a uma variação das fachadas da Sé Nova de Coimbra e da igreja de S. Lourenço do Porto, igualmente traçadas por este arquiteto, onde os volumes das torres estão recuados do frontispício. Simultaneamente, a sua composição mais depurada do frontispício, que se estende ao interior da igreja, traduz-se numa abordagem que combina a corrente local com a linguagem clássica.

#### 5.2.6. Critérios de seleção de um *corpus* de igrejas portuguesas

O *corpus* de igrejas portuguesas selecionadas para análise corresponde a uma escolha simultaneamente restritiva e ampla. É restritiva, porque circunscreve-se a exemplos cuja composição interna é marcadamente de nave única retangular, com laterais onde se distribuem capelas, isto é, relações espaciais pretensamente e, parcialmente, descendentes do esquema da igreja de Sant'Andrea.

Como segunda restrição, excluem-se igrejas edificadas no espaço ultramarino<sup>261</sup>. A inclusão do universo de exemplos de igrejas construídas na área de influência portuguesa no período da Con-

---

<sup>259</sup> Em 1608, entre as pilastras, foram rasgadas pequenas capelas, com acesso direto às capelas laterais.

<sup>260</sup> Estes dois espaços são separados por um altar-mor, de dupla face, coberto por baldaquino, inscrito na fase de reconstrução pós terramoto de 1755 (Saldanha, 2007).

<sup>261</sup> O desenvolvimento de serviços missionários nas áreas de influência ultramarina portuguesa, nomeadamente no Atlântico e Índico, são de vital importância e foram considerados nos trabalhos do projeto *Alberti Digital*. Após um levantamento global, os trabalhos centraram-se em estudos morfológicos e proporcionais da igreja de São Miguel das Missões, Brasil, e da Sé de Goa, Índia. Estes estudos foram exibidos na exposição *Alberti Digital: Tradição e inovação na teoria e prática da arquitetura em Portugal*, patente no Museu da Ciência da Universidade de Coimbra, e aberta ao público em Abril de 2013.

Também no âmbito de investigações decorrentes do projeto *Alberti Digital*, Giovana Godoi, membro da equipa do projeto, inclui as igrejas brasileiras de Nossa Senhora das Graças, em Olinda, e a Catedral da Sé de Salvador, Baía, como estudos de caso, no âmbito da sua tese de doutoramento - *Uma interpretação computacional do "De re aedificatoria": um estudo de caso de igrejas históricas brasileiras*, apresentada na Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Brasil, 2015.

trarreforma, sobretudo, por iniciativa da empresa Jesuíta, obrigaria à exponenciação do tempo de investigação e análise da arquitetura religiosa produzida nesses contextos, por si só, bastante complexos, pelo que impossíveis de abordar nesta tese<sup>262</sup>. Acresce que, o carácter instrumental e metodológico que se pretende apresentar, integrador da cooperação de ferramentas computacionais em estudos arquitetónicos de âmbito historiográfico, legitima a circunspeção de estudos de caso em área geográfica e número.

A amplitude da seleção refere-se a uma escolha que pretende abranger diferentes esquemas compositivos, representativos de uma evolução tipológica que ocorre no seio das igrejas da arquitetura da Renascença em Portugal. Em paralelo, a literatura indica a importância e influência destes edifícios no contexto português. Coincidentemente, os quatro exemplos retratados, localizam-se três cidades de distintas regiões de Portugal continental, apresentando, portanto uma abrangência geográfica significativa.

---

<sup>262</sup> Gomes e Lobo (2012) distinguem as igrejas edificadas por empresas Jesuítas no espaço de influencia português, em dois *campos de produção cultural*, o do espaço transatlântico e do espaço oriental. Segundo estes autores, esta designação é cunhada por Pierre Bourdieu e retomada por Thomas Dacosta Kauffman no texto "Painting of the Kingdoms: A Global View of the Cultural Field", in Gutiérrez, J. (ed.), Pintura de Los Reinos, Ciudad de Mexico, Banamex, 2008, pp. 87-135.

### 5.3. Planta da igreja de São Roque

#### 5.3.1. Análise morfológica e proporcional à luz das regras edificatórias albertianas

Internamente, a planta da atual igreja de São Roque caracteriza-se por ser composta por uma nave central, uma capela-mor pouco profunda, ladeada por dois nichos, e ainda, por cinco capelas laterais em cada uma das laterais. Finalmente, verifica-se a existência de um coro alto<sup>263</sup> sobre o tramo inicial da nave, limitado ossaturas de maiores dimensões do que as situados entre as capelas laterais.

Na sua globalidade, a composição interna da planta organiza-se segundo as partes enunciadas no *De re aedificatoria* para templos de planta quadrada, igualmente presentes em San Sebastiano e Sant'Andrea (na versão atribuída a Alberti, conforme exposto no subcapítulo 4.2.3. *Igreja de Sant'Andrea*), isto é, por nave única, capela-mor e capelas laterais. Neste subcapítulo, inferem-se as principais características morfológicas e proporcionais da planta da igreja da Casa Professa<sup>264</sup>, identificando-se os aspectos convergentes e divergentes dos princípios edificatórios inferidos e implementados na GF<sub>AE</sub>. O relato desta análise segue a ordem das partes edificatórias apresentadas na Tabela 33 e Tabela 34 (cela, capela-mor, capelas laterais, paredes e pórtico).

(1) A amplitude total da nave de São Roque, ou cela, na terminologia de Alberti, corresponde a um *ratio* de 3:7 (Wi:Li), não verificando nenhuma das relações identificadas no cânone albertiano. Porém, se considerarmos que a cela se desenvolve na sua amplitude máxima, após o tramo inicial<sup>265</sup> ocupado pelo coro alto, o *ratio* da sua proporção é 1:2 (ver esquemas na Figura 158 e Figura 159) correspondendo a uma das relações prescritas no *De re aedificatoria* (Alberti, IV, 4, 2).

(2) A geometria retangular da capela-mor é explicitada na GF<sub>AE</sub>, não obstante, o *ratio* 2:5 da sua abertura relativamente à largura da cela (Wc:Wi) e o *ratio* 5:8 relativo à relação entre profundidade da capela e abertura (Lc:Wc) — que configura uma capela-mor pouco profunda — não têm correspondência com as descrições da gramática albertiana desenvolvida.

(3) A existência de cinco capelas laterais retangulares de ambos os lados da nave de São Roque verifica as prescrições do tratado para o número (ímpar) e geometria destes compartimentos.

De igual modo, a largura das ossaturas entre as aberturas das capelas laterais encontra-se dentro dos intervalos prescritos no tratado, com o *ratio* 1:3 na relação entre a ossatura e a abertura das capelas (Ws:Wcl). Excepcionalmente, as ossaturas que separam as segundas e terceiras capelas, são mais largas do que as restantes, criando uma situação atípica na modulação das capelas e ossaturas. Esta variação na ossatura, que não pode ser lida a partir de Alberti, permite o suporte de dois púlpitos, um de cada lado e a incorporação de escadas e corredores de acesso ao púlpito.

---

<sup>263</sup> Segundo Lobo (2014, p.238) o coro alto foi reconstruído em 1893-94, conforme relatado por António César Mena Júnior in "Memória Justificativa das Obras Executadas na Igreja de São Roque de Lisboa", Lisboa, Santa Casa da Misericórdia, 189, pp. 3-13.

<sup>264</sup> Ver o conjunto de esquemas gráficos relativos à análise da igreja de São Roque no Anexo VII. *Análise de um corpus de igrejas da Renascença portuguesa*.

<sup>265</sup> Apesar da falta de evidências documentais que sustentem a possibilidade do dimensionamento da cela excluir o tramo inicial, dois aspetos auxiliam a uma possível exclusão deste tramo para a análise da proporção da cela. O primeiro é relativo ao facto da sequência de ossaturas e aberturas das capelas, iniciar-se após esse tramo, constituindo a área dedicada a atos litúrgicos. O segundo advém da definição de um espaço que antecede a entrada no espaço mais representativo da cela, situado nesse tramo inicial, sob o coro alto (ver esquemas na Figura 158 e Figura 159).

A proporção quadrada das quatro primeiras capelas laterais verifica a relação presente em Sant'Andrea e implementada na GF<sub>AE</sub>. Porém, a profundidade das capelas adjacentes à cabeceira é um quinto menor do que as restantes — correspondente ao *ratio* 5:4 na relação entre a profundidade e a abertura das capelas ( $Wcl:Lcl$ ). Esta diferença parece dever-se à necessidade de acomodar circulações secundárias dentro do perímetro retangular em que se desenvolve o corpo da igreja. Tratam-se de acessos à sacristia, a compartimentos secundários situados junto do tardoz e às galerias altas, que se ocultam de modo a não perturbarem atos litúrgicos.

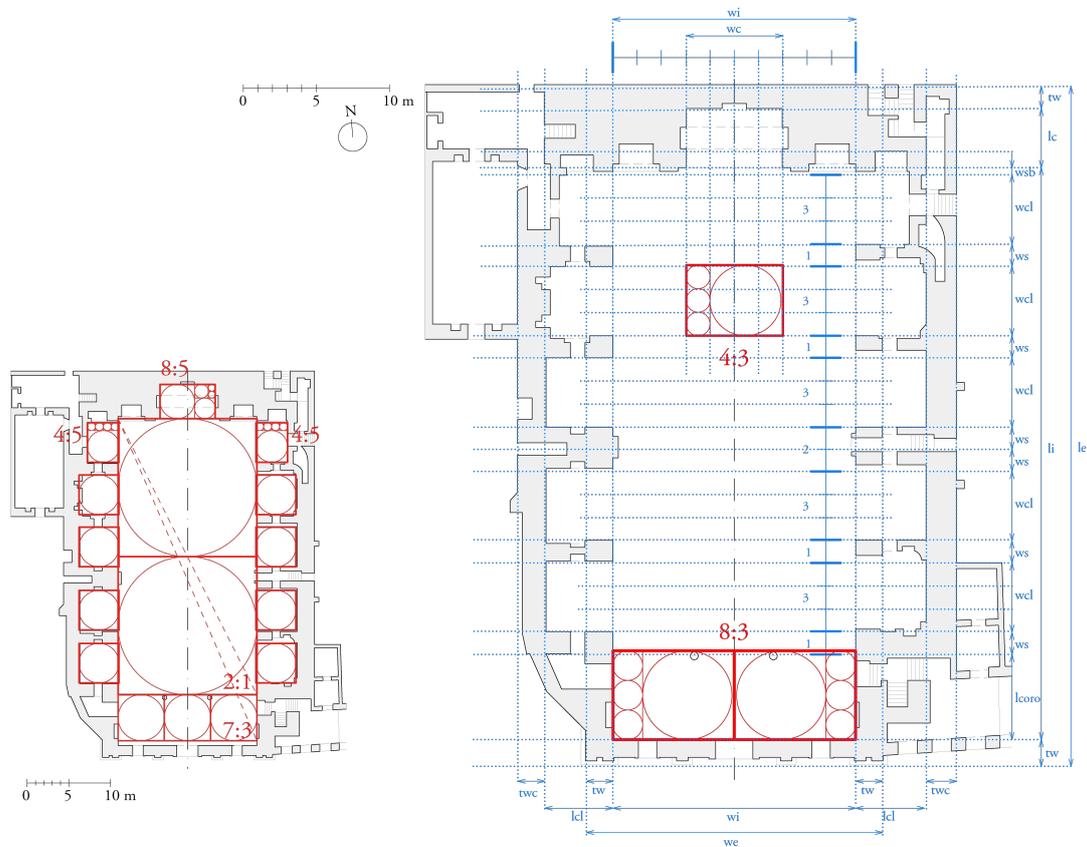


Figura 158. Análise de proporções da planta da igreja de São Roque. À esquerda, planta ilustrativa das proporções das partes constituintes da composição interna da igreja. À direita, planta e esquema ilustrativo das proporções do primeiro tramo da cela (sob o coro alto), abertura da capela-mor, abertura das capelas laterais, e respetiva ossatura. Fonte do desenho base: (Pais & Mantas, 2010).

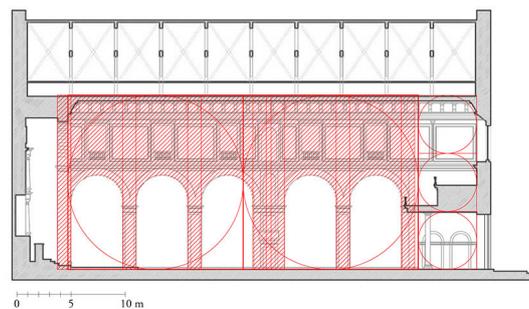


Figura 159. Corte longitudinal da igreja de São Roque, assinalando a área correspondente à nave não considerando o tramo inicial, onde se situa o coro alto, nem a abertura de capelas. Fonte do desenho base: (Oliveira, 2014, p. 150).

De entre todos os parâmetros que regulam a adição de capelas laterais, verifica-se que as aberturas são o único com dimensões explicitamente divergente do enunciado albertiano - o *ratio* de 3:4 ( $Wcl:Wc$ ) configura aberturas de menores proporções do que as prescritas no tratado e presentes em San Sebastiano e Sant'Andrea.

(4) No capítulo anterior, por influxo da obra construída de Alberti, diferenciaram-se espessuras de paredes a adotar em diferentes partes dos edifícios sagrados: paramentos da cela ( $T_w$ ), paramentos externos das capelas ( $T_{wc}$ ) e paramentos entre compartimentos internos ( $T_{wch}$ ). No *Anexo VII*, Figura 26, ilustra-se a análise da espessura das paredes da planta de São Roque à luz desta diferenciação. Conforme registado na Tabela 33, esta análise permitiu verificar que o *ratio* da espessura das paredes da cela ( $T_w$ ), relativamente à largura da cela medida pelo seu extradorso ( $W_e$ ) é de 1:11, divergindo por um do *ratio* 1:12, previsto no tratado.

Na atual planta de São Roque, verifica-se que a espessura das paredes das capelas ( $T_{wc}$ ) é razoavelmente similar à espessura das paredes da cela, pelo que converge com o tratado. Por oposição, a espessura das paredes entre capelas ( $T_{wch}$ ), que em São Roque tem correspondência com a ossatura para abertura das capelas laterais, é menor do que as espessuras das paredes homónimas da obra edificada de Alberti. Se em Sant'Andrea estas paredes são mais espessas do que as paredes externas das capelas, num *ratio* 4:3 ( $T_{wch}:T_{wc}$ ), em São Roque, essa relação inverte-se para o *ratio*  $\sqrt{4}:\sqrt{3}$ . Dada a diferença de funções destas paredes nos dois edifícios, é expectável que as suas espessuras variem inversamente. Na igreja mantuana, estas paredes funcionam como contrafortes das paredes da nave, subindo acima do arranque da abóbada, por outro, na igreja portuguesa, estas paredes são interrompidas ao nível do pavimento das galerias altas, correspondendo à altura da pedra de fecho do arco de abertura das capelas laterais e respetivas abóbadas, pelo que a sua função estrutural permite-lhe uma menor capacidade de resistência e, portanto, uma menor espessura.

(5) A frontaria de São Roque é ornamentada por um pórtico adossado, que se divide em dois níveis de colunatas, encimado por um frontão. No âmbito desta análise importa observar a disposição planimétrica do pórtico. Na Figura 160, verifica-se que o pórtico de São Roque converge com os cânones albertianos nos seguintes aspectos: na largura ( $W_{port}$ ), que iguala a largura da cela medida pelo extradorso das paredes ( $W_e$ ); na profundidade, uma vez que está justaposto à fachada da frontaria; na utilização de pilastras; e no número de pilastras que se distribuem ao longo da colunata ( $N_{col} = 6$ ). Por oposição, diverge nas seguintes proporções: o *ratio* de sensivelmente 11:2, inferido da relação do intercolúnio com a largura das pilastras, é mais amplo do que os intercolúnios preconizados no *De re aedificatoria* e adotados nos pórticos dos edifícios sagrados de Alberti analisados no capítulo anterior<sup>266</sup>; o intercolúnio central apresenta um *ratio* de 3:4 relativamente ao intercolúnio, não verificando nenhum dos valores do cânone albertiano para este parâmetro. Finalmente, a duplicação das pilastras das extremidades, insinuando um reforço estrutural do cunhal, à semelhança, por exemplo, da composição do pórtico da frontaria da igreja de *Gesù* em Roma, não é referido, nem está presente na obra de Alberti<sup>267</sup>.

---

<sup>266</sup> Designadamente, o intercolúnio do pórtico do T. Malatestiano, com um *ratio* de 1:7, que é divergente das descrições do *De re aedificatoria*.

<sup>267</sup> Nas fachadas interiores da cela de Sant'Andrea existe uma duplicação das pilastras pela colocação de uma pilastra em cada uma das duas extremidades das ossaturas das capelas laterais. Porém, nesta igreja a distância entre as pilastras é muito superior à que se verifica no

Tabela 33. Sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja de São Roque, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.

**PLANTA**

<b>Cela</b>													
Proporção (Li : Wi)	1:1	$\sqrt{4}:\sqrt{3}$	$\sqrt{3}:\sqrt{2}$	4:3	$\sqrt{2}:1$	3:2	$\sqrt{3}:1$	16:9	2:1	9:4	8:3	3:1	4:1
Li - comprimento da cela									sem coro alto	7:3 com coro alto			
<b>Capela-mor</b>	Sim		Não										
Abertura (Wc : Wi)	1:2	2:3			$1:\sqrt{3}^{SS}$			2:5					
Wc - abertura da capela-mor													
Wi - largura da cela													
<b>Geometria</b>	Retangular		Circular										
Proporção (Lc : Wc)	1:1	1:2			5:8								
Lc - profundidade da capela													
Wc - abertura da capela-mor	$\approx \sqrt{3} : \sqrt{3}+1$												
<b>Capelas laterais</b>	Sim		Não										
Número Ncl	2	6			10								
Abertura (Wc : Wcl)	1:1	1:11/12			$1:4^{TM}$	4:3							
Wcl - abertura das capelas laterais													
Wc - abertura da capela-mor													
<b>Geometria</b>	Retangular		Circular	Ret/Cir		Cir/Ret							
Proporção (Lcl : Wcl)	1:2	1:1 <sup>SA</sup>		A capela junto da cabeceira é menos profunda 4:5									
Lcl - largura da cela													
Wcl - abertura da capela													
<b>Ossatura (Wcl : Ws)</b>	[1:1/5 , 1: 1/3]		1 : 1/2	$\sqrt{4} : \sqrt{3}^{SA}$	$\sqrt{3} : \sqrt{2}^{SA}$	$\sqrt{2} : \sqrt{1}^{SA}$	$\sqrt{3} : \sqrt{1}^{SA}$	$2\sqrt{2} : \sqrt{1}$	$\rightarrow Wi = Li^{SS}$				
Ws - largura da ossatura													
Wcl - abertura da capela	1:1/3												
<b>Espessura Paredes</b>													
Nave (We:Tw)	1:12		1:9	1:20 <sup>TM</sup>		$H_w : T_w = H_{col} : D_{col} = 19:2$							
We - largura do templo													
Tw - espessura da parede	1:11			We mais capelas		$H_w$ - altura das paredes							
	$D_{col}$ - diâmetro da coluna												
	$H_{col}$ - altura da acoluna												
Capelas (Tw:Twc)	2:1 <sup>SS SA</sup>		1:1										
Tw - da nave													
Twc - das capelas													
Antecâmaras (Twc:Twch)	3:4 <sup>SA</sup>		Twch = (Ws - wch)/2 <sup>SA</sup>		√4 : √3								
Twc - das capelas													
Twch - das antecâmaras													

**x : y**

variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria* nem dos edifícios de Alberti

**x : y**

variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria* ou dos edifícios de Alberti

**x : y**

variáveis que verificam de descrições dos edifícios de Alberti não descritas no *De re aedificatoria*

**x : y**

variáveis que não verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas

**x : y**

variáveis que verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas.

<sup>TM</sup> condições inferidas do T. Malatestiano; <sup>SS</sup> condições inferidas de San Sebastiano; <sup>SA</sup> condições inferidas de Sant'Andrea.

pórtico da frontaria de São Roque, na qual as pilastras estão contíguas. A duplicação das pilastras das extremidades do pórtico da frontaria, posicionadas de modo contíguo é uma composição igualmente adotada nos pórticos de outras duas igrejas em estudo neste capítulo, designadamente, nas igrejas de São Lourenço e São Vicente de Fora.

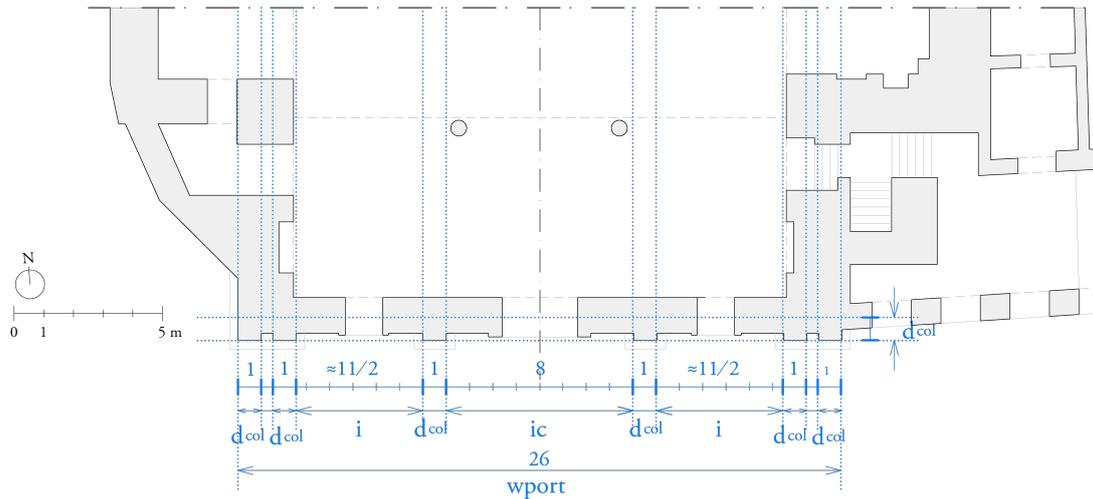


Figura 160. Extrato da planta de São Roque, relativo ao tramo inicial da nave e frontaria. Análise das proporções das partes constituintes do pórtico. Fonte do desenho base: (Pais & Mantas, 2010).

Tabela 34. Sumário das proporções do pórtico da frontaria da igreja de São Roque, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.

#### Pórtico

<b>Largura</b> ( $W_{port}$ )	$W_{port} \geq W_e$					
$W_{port}$ - largura do pórtico	$W_{port} = W_e$					
$W_e$ - largura da nave						
<b>Profundidade</b> ( $L_{port}$ )	$M_{col} \in \mathbb{N} \rightarrow L_{port} \leq 1/3 L_e$				Pórtico adossado $M_{col} = 0$	
$L_{port}$ - profundidade do pórtico						
$L_e$ - profundidade da nave						
$M_{col}$ - número de colunatas						
<b>Número colunas</b> ( $N_{col}$ )	6					
$N_{col}$ - número de colunas						
<b>Intercolúnio</b> ( $i : D_{col}$ )	1:3/2	1:2	1:9/4	1:3	1:27/8	1:7 <sup>TM</sup>
$i$ - intercolúnio	Compacto	Sub-compacto	Elegante	Sub-ampliado	Ampliado	2:11
$D_{col}$ - diâmetro da coluna						
<b>Intercolúnio central</b> ( $i : i_c$ )	1:5/4	1:1 <sup>SS</sup>	3:1 <sup>SA</sup>	3:4		
$i_c$ - intercolúnio central						
<b>Intercolúnio profundidade</b> ( $i : i'$ )	1:1	6:5 <sup>SA</sup>	2:1 <sup>SS</sup>	não se aplica		
$i'$ - intercolúnio entre colunatas						

**x : y** variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria* nem dos edifícios de Alberti

**x : y** variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria* ou dos edifícios de Alberti

**x : y** variáveis que verificam de descrições dos edifícios de Alberti não descritas no *De re aedificatoria*

<sup>TM</sup> condições inferidas do T. Malatestiano; <sup>SS</sup> condições inferidas de San Sebastiano; <sup>SA</sup> condições inferidas de Sant'Andrea.

A frontaria da igreja de São Roque e respetivo pórtico (adossado) ocupam apenas a largura da nave. Rui Lobo (2014, p. 235) sugere que esta disposição deve-se ao estreitamento do lote no seu lado poente (frente da Rua de São Pedro de Alcântara), não permitindo a construção de uma fachada que ocupasse a totalidade da largura da igreja. Apesar das diferenças óbvias entre a composição da frontaria de São Roque e a frontaria de Sant'Andrea – a primeira constituída por dois níveis de pór-

tico adossados à fachada e a segunda, caracterizada pela adição de um pórtico solto da frontaria que segue os princípios compositivos de um arco de triunfo, em ambas, a largura dos pórticos corresponde à largura da nave, tal como é descrito no *De re aedificatoria*.

A disposição mais estreita da fachada de São Roque contribui para que a proporção da frontaria se aproxime de um quadrado, uma proporção que se verifica na frontaria de Sant'Andrea (ver Anexo V. *Análise da obra edificada de Alberti*, pp.17-18).

À falta de evidência da influência direta dos cânones albertianos na igreja de Lisboa de São Roque, resta estimar a possibilidade destas evidências serem heranças da obra albertiana, mesmo que indiretas. O intuito desta investigação é exatamente esse, encontrar vestígios do influxo albertiano através de uma metodologia que alia processos computacionais a métodos de análise morfológica e proporcional a conhecimento historiográfico.

### 5.3.2. A igreja de São Roque como referência para a derivação de uma solução de projeto segundo os cânones albertianos

A Figura 161 ilustra a derivação da planta de um edifício sagrado de base retangular pela sucessiva aplicação de regras de forma da GF<sub>AE</sub>, isto é, a geração de uma solução de projeto representativa da linguagem albertiana. Neste processo, os valores adotados para as variáveis que operam o cálculo dimensional dos parâmetros intervenientes nas regras de forma pertencem ao conjunto de valores inferidos do *De re aedificatoria* e ao *corpus* de obras edificadas de Alberti, sendo iguais, ou os mais aproximados (ver coluna III da Tabela 35) dos números e proporções inferidos da análise da atual planta de São Roque (ver coluna V da Tabela 35).

O processo de derivação ilustrado na Figura 161 segue os três estágios de derivação da GF<sub>AE</sub>: *Estágio 1. Composição interna, Estágio 2. Delineamento de Paredes e Estágio 3. Delineamento do Pórtico*. Dado o objetivo de verificação da capacidade da GF<sub>AE</sub> gerar soluções de projeto convergentes com exemplos do universo de igrejas portuguesas do período da Contrarreforma, ao longo da derivação verificou-se a necessidade de “negociar” condições divergentes entre as condições da GF<sub>AE</sub> e aspetos compositivos presentes em São Roque. Desde logo, esta situação ocorre na *Regra 1. Delineamento da cela* e no conjunto de *Regras 3. Abertura das capelas laterais*.

Conforme exposto anteriormente, da análise das proporções da cela (Wi:Li) de São Roque inferiram-se os *rationes* 3:7 e 1:2, cuja variação dá-se pela inclusão e exclusão do tramo inicial da cela onde se situa o coro alto, respetivamente. Na aplicação da *Regra 1. Delineamento da cela* considerou-se o *ratio* menor. Esta escolha justifica-se em três argumentos (ver ainda a nota de rodapé 265):

(1) A proporção dupla da cela converge com as descrições do tratado.

(2) Nesta proporção, os alçados laterais da nave poderão ser gerados pela sucessiva alternância de ossaturas e aberturas de capelas, tal como, se verifica na nave Sant'Andrea (excluindo o transepto).

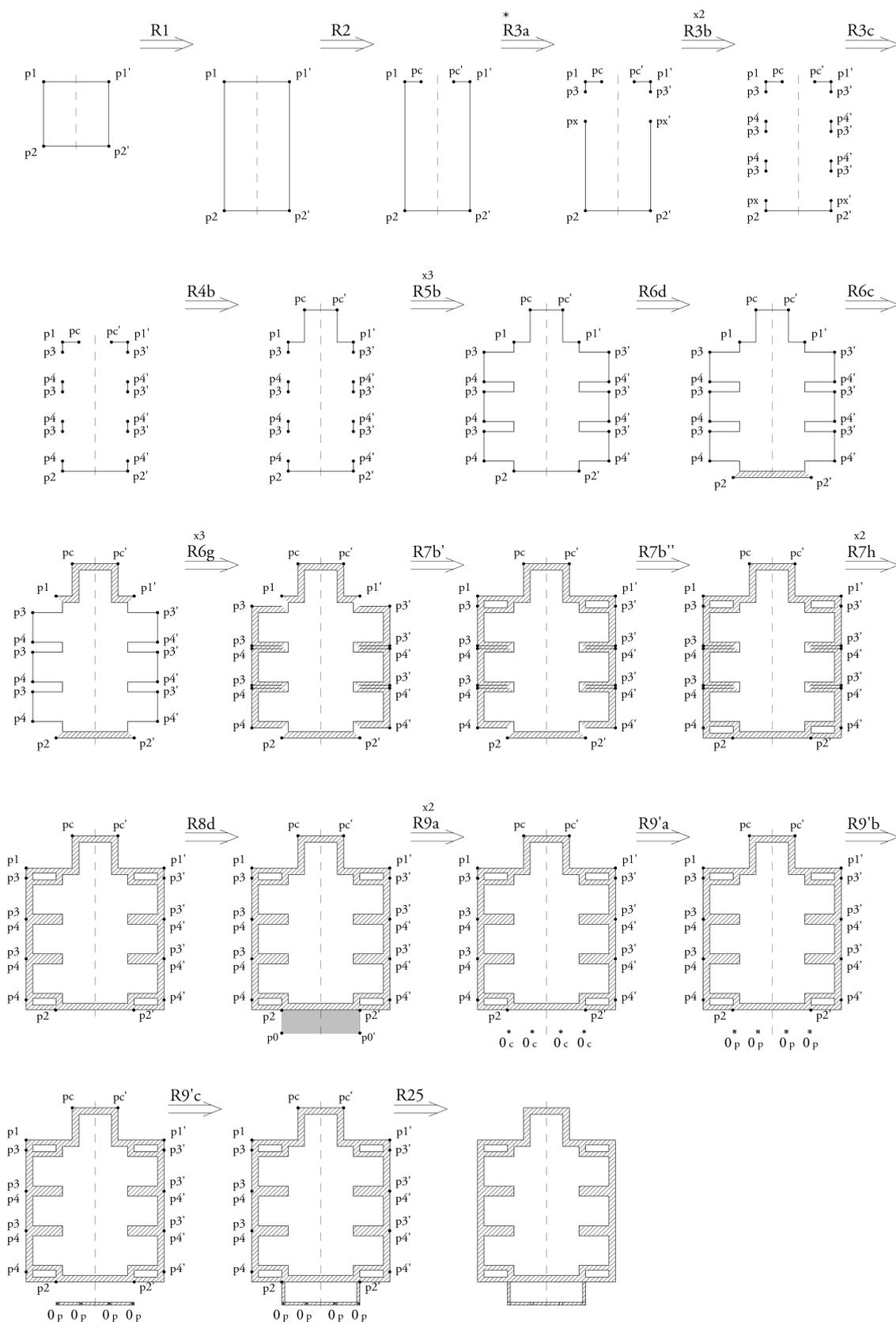


Figura 161. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> — pela aplicação passo a passo de regras de forma — com maior afinidade com a atual planta da igreja de São Roque.

(3) No *Estágio 3. Delineamento do Pórtico* ao considerar-se a adição de um pórtico solto da frontaria (aplicando as *rationes* do intercolúnio e colunas do pórtico de São Roque), o conjunto cela (com *ratio* 1:2) e pórtico, apresentam uma proporção próxima de 3:7. Ou seja, uma proporção convergente com a planta de São Roque. Simultaneamente, esta solução evidencia algumas semelhanças relativamente à disposição do pórtico de Sant'Andrea<sup>268</sup>, relativamente à cela. Anteriormente, referiu-se que o pórtico Sant'Andrea, por influxo de arco de triunfo, funciona como uma antecâmara de entrada na igreja. Em São Roque, não existe uma compartimentação vertical, contudo, a variação de pé-direito pela inclusão do coro alto e a diferença de tratamento das fachadas laterais desse tramo inicial sugerem que houve o propósito de delineamento de um espaço que antecede o acesso ao espaço litúrgico, implementado segundo uma lógica que o autonomiza da restante cela.

Na planta da igreja de São Roque abrem-se cinco capelas nas laterais. Segundo as condições do cânone albertiano, descritas nas *Regras 3. Abertura das capelas laterais*<sup>269</sup> (ver Anexo VI) da GF<sub>AE</sub>, a proporção da cela de São Roque, tanto na versão com coro alto como na versão dupla, sem coro alto, não pode acomodar mais do que três capelas laterais<sup>270</sup>. Por este motivo, no processo de derivação da solução considerou-se a abertura de três capelas laterais em cada um dos lados da cela. Se na aplicação da regra para o delineamento da cela não se adotam as condições para a aplicação dessa regra, neste caso, também não se podem adotar as condições das Regras 3, mesmo sabendo de antemão que a solução gerada pela GF<sub>AE</sub> irá ser divergente da planta de São Roque nos números e proporções relativas às capelas laterais.

### 5.3.3. Vestígios de uma solução de projeto albertiano na planta da igreja de São Roque

A sobreposição da solução de projeto gerada pela GF<sub>AE</sub> à planta da atual igreja de São Roque (Figura 162), sugere que ambas convergem nos seguintes aspectos: (1) no delineamento da cela e do espaço que a antecede; (2) na disposição planimétrica do pórtico.

Com efeito, destacam-se ainda cinco divergências de origem morfológica e proporcional: (1) a GF<sub>AE</sub> não permitiu o delineamento de uma capela-mor pouco profunda; (2) em concordância com o exposto anteriormente, o delineamento das capelas laterais da solução gerada pela GF<sub>AE</sub> diverge no número de capelas laterais de São Roque e, conseqüentemente, nas dimensões; (3) de igual modo, a divergência do número e dimensões das capelas laterais, provoca um desfasamento na disposição e dimensão da ossatura entre capelas laterais<sup>271</sup>; (4) a existência de ligações entre capelas laterais, isto é, de capelas intercomunicantes, constitui uma das principais características das igrejas do período da Contrarreforma, designadamente, nas igrejas jesuítas, estabelecendo uma relação espacial que Alberti não descreve no *De re aedificatoria*, nem implementa nas suas igrejas; (5) na

<sup>268</sup> Mais exemplos poderiam ser dados, porém, no contexto deste trabalho, interessa recorrer ao legado albertiano para uma leitura do seu possível influxo no contexto português.

<sup>269</sup> Ver Anexo VI. *Gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti.*

<sup>270</sup> Conforme explicitado no esquema da Figura 40. *Análise de correspondências entre a dimensão das aberturas das capelas laterais e o comprimento da cela.*

<sup>271</sup> A proporção da ossatura relativamente à abertura das capelas laterais verifica as condições da *Regra 3. Abertura de Capelas Laterais*, da GF<sub>AE</sub>. Porém, a natureza paramétrica desta regra de forma, caracterizada pela dependência da disposição e dimensões das capelas laterais, resulta na divergência de soluções entre a planta gerada pela GF<sub>AE</sub> e a planta de São Roque.

solução de projeto da GF<sub>AE</sub>, o perímetro exterior da capela-mor destaca-se do corpo da igreja, divergindo da configuração espacial de São Roque, onde pela adição de compartimentos e paramentos no perímetro da capela-mor, o seu volume e o corpo da igreja integram-se num traçado regular.<sup>272</sup>

A derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> que mais se aproxima da configuração morfológica e proporcional da atual planta de São Roque sugere concordâncias entre os seus princípios compositivos, reguladores da organização espacial das partes dos edifício. Por oposição, inferem-se divergências ao nível dos números e proporções que regulam a disposição e dimensionamento dessas partes. Acresce que, a adaptação desta tipologia a novos desígnios programáticos, resulta na abertura de passagens entre capelas laterais, na adição de circulações secundárias junto da cabeceira, tendo em vista o acesso à sacristia e às galerias altas e tribunas e, de modo contraditório ao programa jesuíta, a existência de um coro alto no tramo inicial da cela.

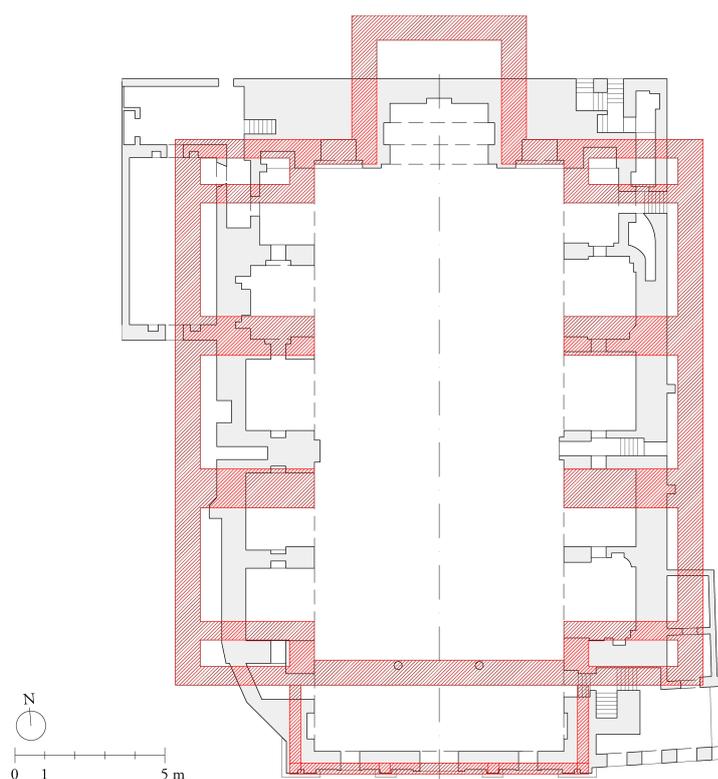


Figura 162. Sobreposição da atual planta da igreja de São Roque, com planta gerada pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho).

<sup>272</sup> A sobreposição da planta gerada pela GF<sub>AE</sub> à planta de São Roque mostra que a geometria da primeira não se adapta ao limite do terreno disponível para a sua implantação, tal como acontece com o cunhal Sudoeste da frontaria da Casa Professa que confronta a Rua de São Pedro de Alcântara, adaptando-se à direção e presença desta rua. A integração de regras que adaptem o delineamento das partes dos edifícios sagrados a condicionantes do lugar não foi implementada em nenhuma das gramáticas de forma desenvolvidas nesta dissertação. Globalmente, por influência do pensamento edificatório do *De re aedificatoria* e, da sua natureza gerativa, no contexto dos edifícios sagrados de planta retangular, as regras de forma desenvolvidas nesta dissertação consideram princípios edificatórios de natureza adimensional, pelo que são adaptáveis a diferentes escalas. O desenvolvimento de regras específicas à adaptação dos edifícios ao seu contexto (topografia, contexto urbano, parcelamento, pré-existências, etc.) poderá ser considerado em investigações futuras. Neste âmbito, as intervenções de Alberti no T. Malatestiano e em Sant'Andrea constituem referentes para essas regras. É conveniente referir que, a natureza de condicionantes do lugar e projeto poderão ser de uma especificidade que dificulta o mapeamento e previsibilidade de todas as situações que se podem verificar no contexto do projeto.

### 5.3.4. Avaliação do grau de correlação da gramática com a planta da igreja de São Roque

Na Tabela 35 expõem-se os dados necessários à avaliação da correlação do conjunto de proporções implementadas na GF<sub>AE</sub>, com as proporções presentes no traçado da planta da igreja de São Roque.

Na coluna III, lista-se o conjunto de variáveis e respetivos valores (assinalando-se os parâmetros — coluna I, e condições para a sua aplicação — coluna II) inferidos do *De re aedificatoria*, ou do *corpus* de edifícios sagrados de Alberti, estudados no capítulo 5, com maior correspondência, ou iguais, às proporções deduzidas por análise da planta da igreja da Casa Professa de Lisboa (registadas na coluna V).

Na avaliação do grau de correlação executada através do modelo de regressão linear simples (MRLS), o primeiro conjunto (coluna III) corresponde às variáveis independentes (X) e, o segundo conjunto às dimensões dependentes (Y) relativas às proporções das partes da planta de São Roque, listadas na Coluna V.

Tabela 35. Lista de valores inferidos do tratado e corpus de obra edificada de Alberti (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes em São Roque (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões de São Roque para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.

I. parâmetros	II. condições	Linguagem albertiana			São Roque		
		III. variável/valor*	IV. metros <i>braccias</i>		V. variável/valor*	VI. metros <i>braccias</i>	
<b>wi</b>			16,38	34,99		16,38	34,99
<b>li'</b> <sup>1</sup>	li = α wi	α = 2	32,76	69,98	α = 2	32,75	69,95
<b>li</b>	com coro alto	α = 9/4	36,85	78,71	<b>α = 7/3</b>	38,77	82,81
<b>wc</b>	wc = β wi	β = 1/2	8,19	17,49	<b>β = 2/5</b>	6,5	13,88
<b>lc</b>	lc = Θ wc	Θ = 1	8,19	17,49	<b>Θ = 5/8</b>	4,01	8,57
<b>wcl</b>	wcl = φ wc	φ = 11/12	7,51	16,04	<b>φ = 3:4</b>	4,71	10,06
<b>lcl</b>	lcl = γ wcl	γ = 1 <sup>SA</sup>	3,75	8,01	γ = 1:1	4,6	9,83
<b>ws</b>	ws = φ' wcl	φ' = 1/3	2,50	5,34	φ' = 1/3	1,5	3,20
<b>tw</b>	tw = σ we	σ = 1/12	1,64	3,50	σ = 1/12	1,82	3,89
<b>twc</b>	twc = σ' tw	σ' = 1	1,64	3,50	σ' = 1	1,92	4,10
<b>twch</b>	twch = σ' twc	σ' <sup>2</sup> = 3/4 <sup>SA</sup>	1,23	2,63	<b>σ'<sup>2</sup> = √3/√4</b>	1,5	3,20
<b>we</b>	we = (1 + 2σ) / wi		19,66	41,99		19,97	42,66
<b>le</b>	le = li + 2tw		36,04	76,98		34,33	73,33
<b>i</b>	dcol = wport / (ncol (1 + δ) - 3/4 δ) δ ∈ {3/2, 2, 9/4, 3, 27/8}	<b>δ = 1/7<sup>TM</sup></b>	10,85	23,18	<b>δ = 2/11</b>	8,42	17,99
<b>ic</b>	ic = 5/4 i	ic = 5/4 i	13,56	28,96	<b>ic = 3/4 i</b>	12,4	26,49

\* valor inferido do *De re aedificatoria* e *corpus* de edifícios de Alberti com maior correspondência com o valor inferido no edifício. **valores a vermelho** não têm correspondência com a linguagem albertiana, **valores a azul** valores inferidos das obra edificada de Alberti. nota: a unidade de medida *braccias* é referente às *braccias mantuana.*, cuja unidade corresponde a aproximadamente 0,468 metros.

<sup>1</sup> Para o cálculo da convergência de São Roque com a cânone albertiano considera-se o comprimento da cela sem área relativa ao coroalto, uma vez que corresponde ao ritmo de aberturas e ossaturas mais próximo do implementado por Alberti.

Após a compilação do conjunto de variáveis dependentes e independentes, recorreu-se ao programa SPSS<sup>273</sup> para a geração do gráfico de dispersão, expondo a reta de regressão (Gráfico 4) representativo da relação entre os dois conjuntos de variáveis.

O Gráfico 4 permite observar a posição relativa dos parâmetros/variáveis em análise, relativamente à reta de regressão. Genericamente, verifica-se que o conjunto de pontos não apresenta uma grande dispersão relativamente à reta, prevendo-se uma forte correlação entre a generalidade das variáveis dependentes e independentes. As variáveis dependentes menos convergente, isto é, com maior erro de previsão, são: a variável relativa ao comprimento da cela na sua versão com o coro alto (Li); a variável relativa à profundidade da capela-mor (Lc); e a variável que determina o intercolúnio central (ic).

O coeficiente de regressão obtido é de 96,2% ( $R = 0,962$ ), sugerindo uma forte correlação entre as variáveis. O coeficiente de determinação é igualmente elevado, correspondendo a 92,5% ( $R^2 = 0,925$ ), propondo que as variáveis independentes (X) têm capacidade de explicitar as variáveis dependentes (Y) <sup>274</sup>.

Em síntese, não obstante a incapacidade da GF<sub>AE</sub> gerar algumas das relações espaciais presentes na planta de São Roque, pela análise MRLS, indica que as proporções e números que a configuram têm um forte grau de convergência com as proporções e números descritos inferidos na teoria e prática edificatória albertiana, e implementados na GF<sub>AE</sub>.

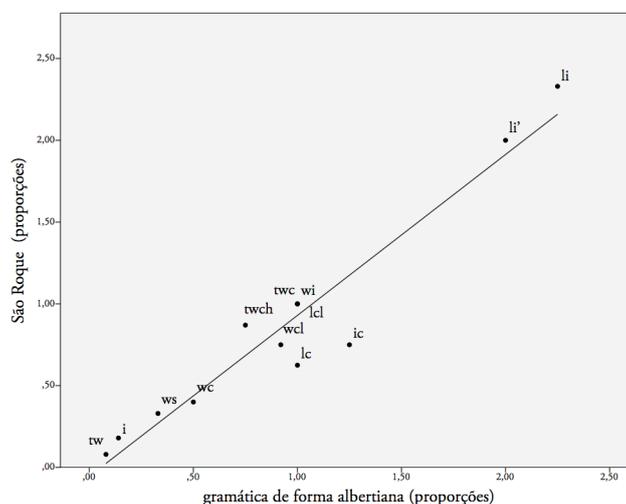


Gráfico 4. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da GF<sub>AE</sub> na igreja de São Roque, Lisboa.

<sup>273</sup> Ver subcapítulo 4.3. *Análise analítica inversa*.

<sup>274</sup> O erro de precisão obtido corresponde a  $\epsilon = 0,18772$ .

## 5.4. Planta da igreja do Espírito Santo

### 5.4.1. Análise morfológica e proporcional à luz das regras edificatórias albertianas

Aparentemente, a composição interna da planta da igreja do Espírito Santo de Évora, tal como sucede na igreja de S. Roque, adota o esquema compositivo dos templos de planta quadrada enunciado no *De re aedificatoria*. Através da análise morfológica e proporcional da planta da igreja eborense (Figura 163)<sup>275</sup> e subsequente confronto com as regras edificatórias albertianas implementadas na GF<sub>AE</sub>, explicitam-se as características do modelo português que estão presentes e ausentes nessas regras. Neste sentido, geometrias, números e proporções que descrevem a cela, a capela-mor, as capelas laterais, as paredes e o pórtico da igreja do Espírito Santo são analisados à luz da GF<sub>AE</sub> (tarefa auxiliada pela síntese realizada na Tabela 36 e Tabela 37)

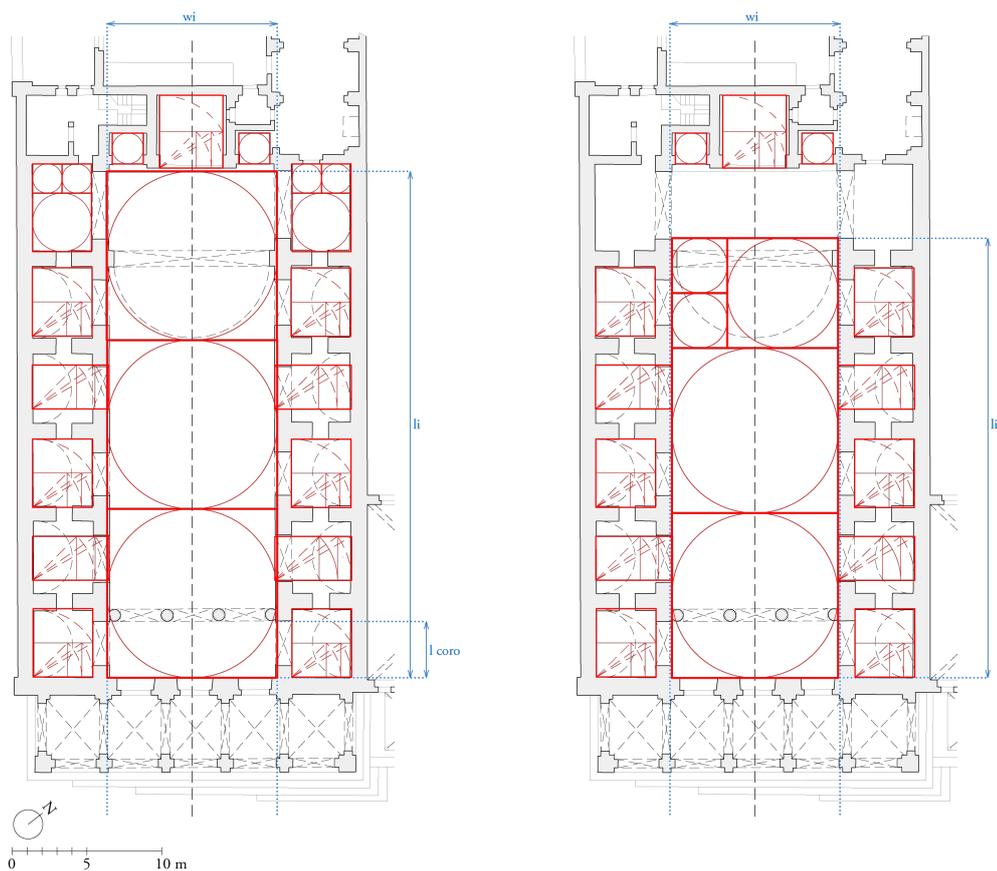


Figura 163. Análise de proporções das partes constituintes da composição interna da planta da igreja do Espírito Santo, Évora. À esquerda, análise considerando a amplitude máxima da cela. À direita, análise da cela sem o tramo do falso transepto.

(1) Propõem-se duas leituras para a proporção da cela da igreja do Espírito Santo. A primeira, com o *ratio* 1:3 ( $W_i:L_i$ ), considera toda a área da cela, como representado no lado esquerdo da Figura 163. A segunda, com *ratio* 3:8, exclui o tramo da cela que se abre para o falso transepto. A leitura da cela, na sua versão sem transepto, permite uma análise mais consentânea com o cânone albertiano

<sup>275</sup> Ver o conjunto de esquemas gráficos relativos à análise igreja do Espírito Santo de Évora no Anexo VII. *Análise de um corpus de igrejas da Renascença portuguesa*.

(que não prevê a existência de transepto), e porque abrem-se cinco pares de capelas laterais, um número (ímpar) convergente com as descrições do *De re aedificatoria*<sup>276</sup>. Curiosamente, ambos os *rationes* são convergentes com proporções prescritas no tratado para o delineamento da GF<sub>AE</sub>.

Com efeito, partindo do pressuposto que a adição do transepto é uma evolução da linguagem albertiana, a sua exclusão permitirá uma análise mais fidedigna da presença das regras edificatórias albertianas na modulação das laterais da cela pela sequência de aberturas de capelas laterais interrompidas pelas respetivas paredes de ossatura — uma disposição igualmente congruente com a composição de Sant’Andrea na versão do século XV. Adverte-se desde já que esta situação verifica-se igualmente na análise das igrejas de São Lourenço e São vicente de Fora, ambas possuidoras de transeptos inscritos.

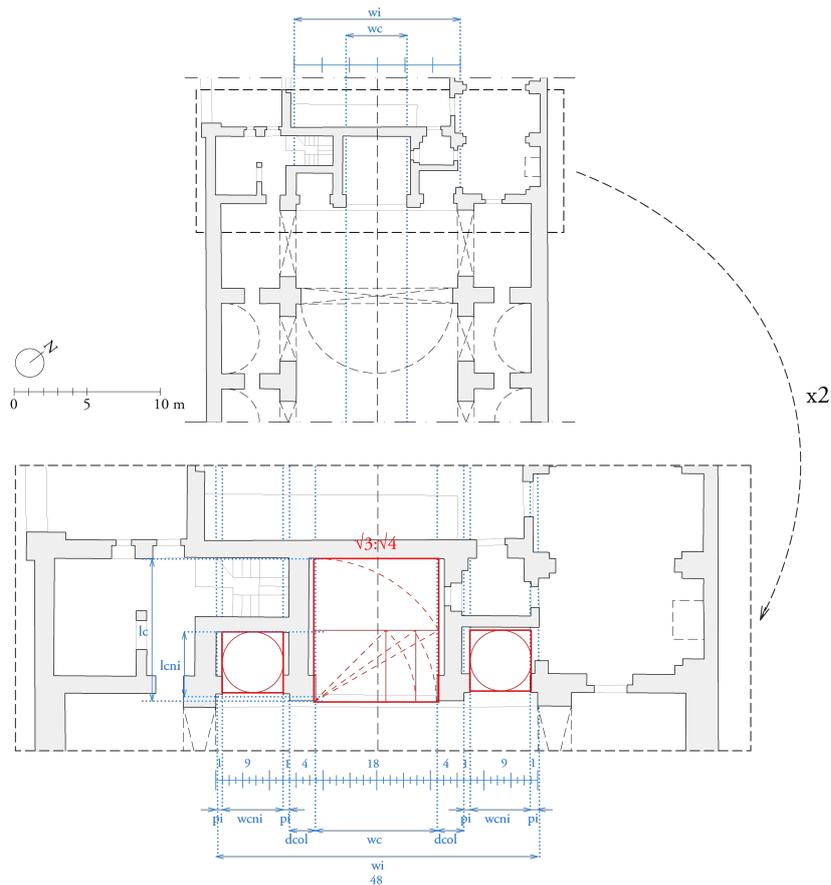


Figura 164. Extrato da planta da igreja do Espírito Santo, relativo à cabeceira. Análise das proporções da capela-mor e nichos que ladeiam o alçado interior da cabeceira.

(2) A presença de capela-mor e a sua geometria de base retangular são explicitadas na GF<sub>AE</sub>, mas, a sua dimensão e proporções não o são. Conforme ilustrado na Figura 164, a abertura da capela-mor

<sup>276</sup> Tal como na igreja de São Roque, na igreja do Espírito Santo existe um coro alto no primeiro tramo da cela. Porém, se na igreja de Lisboa, exclui-se esse tramo na inferência da proporção da cela, na igreja de Évora, esse tramo é considerado. Esta diferença de critérios trata-se de uma falsa incoerência, que se justifica no seguinte argumento: na Casa Professa, o conjunto de aberturas de capelas laterais é interrompido antes desse tramo, assinalando uma diferenciação de relações espaciais; na igreja de Évora, o sistema de aberturas de capelas/ossatura só se interrompe na parede da frontaria, sugerindo que a cela expande-se na amplitude do espaço central da igreja.

mede 1:3 da largura da cela ( $W_c:W_i$ ), um *ratio* inferior ao mínimo previsto por Alberti. Por oposição, a profundidade da capela-mor é maior do que a abertura, numa relação  $\sqrt{4}:\sqrt{3}$  ( $L_c:W_c$ ). Ambos os *rationes* não têm correspondência com as descrições da gramática albertiana para os respetivos parâmetros, como registado na Tabela 36.

(3) Na igreja do Espírito Santo, os braços transversos e capelas laterais têm profundidades similares. Ao nível da planta, este facto introduz uma relação de continuidade formal, apesar da abertura dos braços transversos ser um pouco mais larga do que as capelas laterais<sup>277</sup>. Não obstante, o facto do arco dos braços transversos ser mais alto do que o das restantes capelas<sup>278</sup> salienta uma distinção espacial entre ambos.

Como mencionado, esta análise valoriza a relação entre a cela e capelas laterais em detrimento do transepto. Neste âmbito, deve-se referir que, tal como em S. Roque, existem cinco capelas laterais retangulares intercomunicantes de ambos os lados da cela. O número e geometria destas capelas verificam as prescrições do tratado.

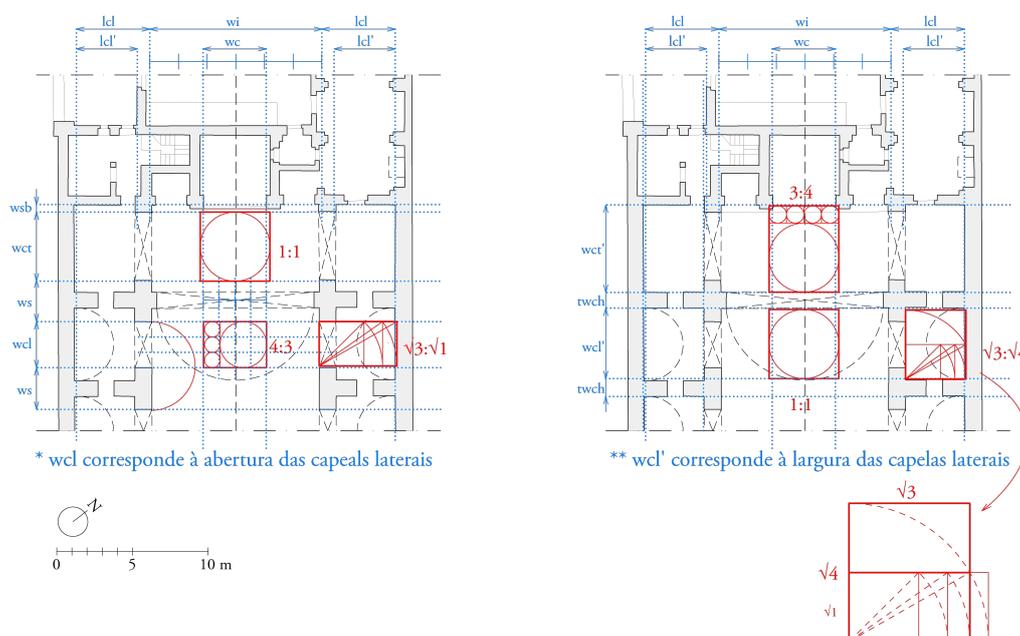


Figura 165. Extrato da planta da igreja do Espírito Santo, relativo à cabeceira. Análise das proporções implícitas à abertura e profundidade das capelas laterais. À esquerda inferem-se proporções relativas à abertura das capelas laterais e braços transversos. À direita, inferem-se proporções relativas à largura do espaço interno das capelas laterais e braços transversos

No entanto, as proporções inerentes ao delineamento das capelas laterais não têm correspondência com as descrições da GF<sub>AE</sub>. Como ilustrado na Figura 165 (planta do lado esquerdo), a dimensão da abertura da capela-mor relativamente à dimensão das aberturas das capelas laterais corresponde

<sup>277</sup> Na igreja do Espírito Santo, o elevar dos braços transversos a uma altura próxima do entablamento de arranque da abóbada ocasiona a interrupção parcial das galerias altas de acesso às tribunas.

<sup>278</sup> Esta configuração espacial é devedora da igreja gótica de São Francisco de Évora, onde, tal como na igreja do Espírito Santo, o arco de abertura dos braços transversos aproxima-se do friso de arranque da abóbada de cobertura, enquanto que nas capelas laterais, nivelam-se pelos pavimentos das galerias altas de acesso às tribunas. Simultaneamente, a presença de um falso transepto na igreja eborense, por influxo local (igreja e S. Francisco de Évora), é uma das características compositivas que a distingue da igreja de São Roque.

ao *ratio* 4:3 ( $Wcl:Wc$ ) e, a dimensão destas relativamente à profundidade aproxima-se do *ratio*  $\sqrt{3}:\sqrt{1}$  ( $Wcl:Lcl$ ), configurando uma proporção atipicamente profunda para as capelas laterais relativamente ao cânone albertiano. Ao contrário dos restantes exemplos do *corpus* de edifícios portugueses incluídos neste estudo, a abertura das capelas laterais é mais reduzida do que a largura interna das capelas, isto é, ultrapassado o arco de abertura das capelas, o seu espaço interno expande-se num retângulo com  $\sqrt{3}:\sqrt{4}$  (ver Figura 165, do lado direito), cuja largura é similar à abertura da capela-mor.

Independentemente da divergência ou convergência de proporções, a separação entre as capelas dá-se por paredes de meação cuja espessura não tem correspondência com os tramos de paredes de ossatura das laterais, configurando uma relação espacial ausente do cânone albertiano.

(4) A análise da espessura dos paramentos que delimitam e compartimentam os diversos espaços da igreja do Espírito Santo segue os critérios enunciados na análise de São Roque. A análise ilustrada nas Figuras 31 e 32 do *Anexo VII* permitem deduzir que a espessura das paredes limite da cela ( $T_w$ ) toma 1:12 da largura da nave ( $W_e$ ), que a espessura das paredes exteriores das capelas ( $T_{wc}$ ) iguala-se à primeira e, que a espessura média das paredes de meação das capelas laterais e de compartimentos secundários ( $T_{wch}$ ) toma 2:3 da espessura das paredes das capelas ( $T_{wc}$ ).

Conforme indicado na Tabela 36, os dois primeiros *rationes* verificam as descrições prescritas no *De re aedificatoria* para os respetivos parâmetros. Não obstante, o terceiro *ratio* enunciado (para  $T_{wch}$ ), relativo a paramentos secundários na compartimentação e estrutura dos edifícios, não consta das descrições do tratado nem é aplicado por Alberti nos seus edifícios sagrados. Todavia, representa uma diminuição de escala relativamente aos paramentos principais, o que demonstra a integração de princípios práticos da frugalidade e duração enunciados no *De re aedificatoria* (ver subcapítulo 2.1.1. *Origem, Princípios e Ordem do De re aedificatoria*).

(5) A presença da galilé na frontaria da igreja do Espírito Santo secundariza o pórtico adossado ao paramento exterior da sua frontaria, por si só, já bastante dissimulado devido à pouca protuberância e reduzido número de pilastras que o compõem. Com efeito, a disposição destes dois elementos sugere a possibilidade de se lerem autonomamente. Por este motivo, ensaiam-se análises independentes às proporções dos componentes planimétricos das colunatas da galilé e pórtico da frontaria (recuado).

A galilé do Espírito Santo assemelha-se a uma *loggia* — na qual se substituíram as colunas por pilastras — e a uma estrutura que concatena um pórtico em arquitrave com uma arcada<sup>279</sup>. As proporções dos componentes do pórtico em arquitrave, o elemento mais robusto e principal desta estrutura, são inferidas conforme apresentado no esquema da Figura 166 (lado esquerdo). Esta estrutura é composta por uma colunata semi-encastada na frontaria, que se liga a uma colunata solta da frontaria. Ambas as colunatas dividem-se em seis pilastras separadas por intercolúnios ( $i$ ) com a dimensão de seis pilastras. Lateralmente, o intercolúnio que separa as pilastras das duas colunatas ( $i'$ ) corresponde à largura de sete pilastras ( $i' = 7/6 i$ ).

---

<sup>279</sup> A galilé da igreja de São Francisco, Évora, terá influenciado esta disposição, uma vez que os seus pilares estão ligados por arcos. Nesta galilé, também constituída por seis pilares, a geometria dos arcos varia entre arco abatido e arco de ogiva, ao gosto gótico.

Tabela 36. Sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja do **Espírito Santo**, pouco protuberante lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.

**PLANTA**

Cela		1:1	$\sqrt{4}:\sqrt{3}$	$\sqrt{3}:\sqrt{2}$	4:3	$\sqrt{2}:1$	3:2	$\sqrt{3}:1$	16:9	2:1	9:4	$\sqrt{8}:3$	3:1	4:1
Proporção (Li : Wi)														
Li - comprimento da cela														
Wi - largura da cela														sem transepto
<b>Capela-mor</b>	Sim		Não											
Abertura (Wc : Wi)	1:2		2:3			$1:\sqrt{3}^{SS}$								1:3
Wc - abertura da capela-mor														
Wi - largura da cela														
Geometria	Retangular		Circular											
Proporção (Lc : Wc)	1:1		1:2											$\sqrt{4}:\sqrt{3}$
Lc - profundidade da capela														
Wc - abertura da capela-mor														
<b>Capelas laterais</b>	Sim		Não											
Número Ncl	2		6											10
Abertura (Wc : Wcl)	$\sqrt{1}:1$		1:11/12											$1:4^{TM}$
Wcl - abertura das capelas laterais														
Wc - abertura da capela-mor	largura da capela*													$\approx 4:3$
Geometria	Retangular		Circular			Ret/Cir								Cir/Ret
Proporção (Lcl : Wcl)	1:2		1:1 <sup>SA</sup>											$\sqrt{3}:\sqrt{4}$
Lcl - largura da cela														
Wcl - abertura da capela														largura da capela*
Ossatura (Wcl : Ws)	[1:1/5 , 1: 1/3]		1 : 1/2		$\sqrt{4}:\sqrt{3}^{SA}$	$\sqrt{3}:\sqrt{2}^{SA}$	$\sqrt{2}:\sqrt{1}^{SA}$	$\sqrt{3}:\sqrt{1}^{SA}$	$2\sqrt{2}:\sqrt{1}$	$\rightarrow Wi = Li^{SS}$				$\approx 1:1$
Ws - largura da ossatura														
Wcl - abertura da capela														
<b>Transepto</b>	Sim		Não											
Falso/Verdadeiro	Falso													
Abertura (Wct: Wc)	1:1													
Wct - abertura dos braços														
Geometria	Retangular													
Proporção (Lct : Wct)	1:1													
Lct - profundidade dos braços														
<b>Espessura Paredes</b>														
Nave (We:Tw)	1:12		1:9											$H_w : T_w = H_{col} : D_{col} = 19:2$
We - largura do templo														$H_w$ - altura das paredes
Tw - espessura da parede														$D_{col}$ - diâmetro da coluna
														$H_{col}$ - altura da acoluna
Capelas (Tw:Twc)	2:1 <sup>SS SA</sup>		1:1											
Tw - da nave														
Twc - das capelas														
Antecâmaras (Twc:Twch)	3:4 <sup>SA</sup>		$Twch = (Ws - wch)/2^{SA}$											3:2
Twc - das capelas														
Twch - das antecâmaras														

$x : y$  variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria* nem dos edifícios de Alberti

$x : y$  variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria* ou dos edifícios de Alberti

$x : y$  variáveis que não verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas

$x : y$  variáveis que verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas.

<sup>TM</sup> condições inferidas do T. Malatestiano; <sup>SS</sup> condições inferidas de San Sebastiano; <sup>SA</sup> condições inferidas de Sant'Andrea.

\* A abertura e largura das capelas laterais são distintas, a ossatura ocupa parte do interior da capela.

nota: o texto a **vermelho** indica partes da igreja que Alberti não contempla, mas que evidenciam uma evolução da linguagem, tal como é o caso dos transeptos.

A largura do pórtico que compõe a galilé excede a largura da cela medida pelo extradorso ( $We$ ), pelo que não verifica o disposto no *De re aedificatoria*. Porém, esta disposição é análoga ao modo como o pórtico de San Sebastiano se prolonga para além da largura da nave. Por este motivo, poder-se-á considerar uma relação plausível dentro do cânone albertiano. Relativamente aos restantes parâmetros em análise, assinalados na Tabela 37 a profundidade do pórtico ( $L_{port}$ ) e o número de colunas ( $N_{col}$ ), presentes em cada uma das colunatas, são consentâneos com as descrições do *De re aedificatoria*. O intercolúnio central é idêntico aos restantes intercolúnios, tal como sucede no pórtico de San Sebastiano. Por oposição, os *rationes* do intercolúnio ( $i$ ), medido a partir da largura da pilastra (6:1), e do intercolúnio entre colunatas ( $i'$ ), são próximas, mas divergentes, das condições para a aplicação das regras edificatórias albertianas.

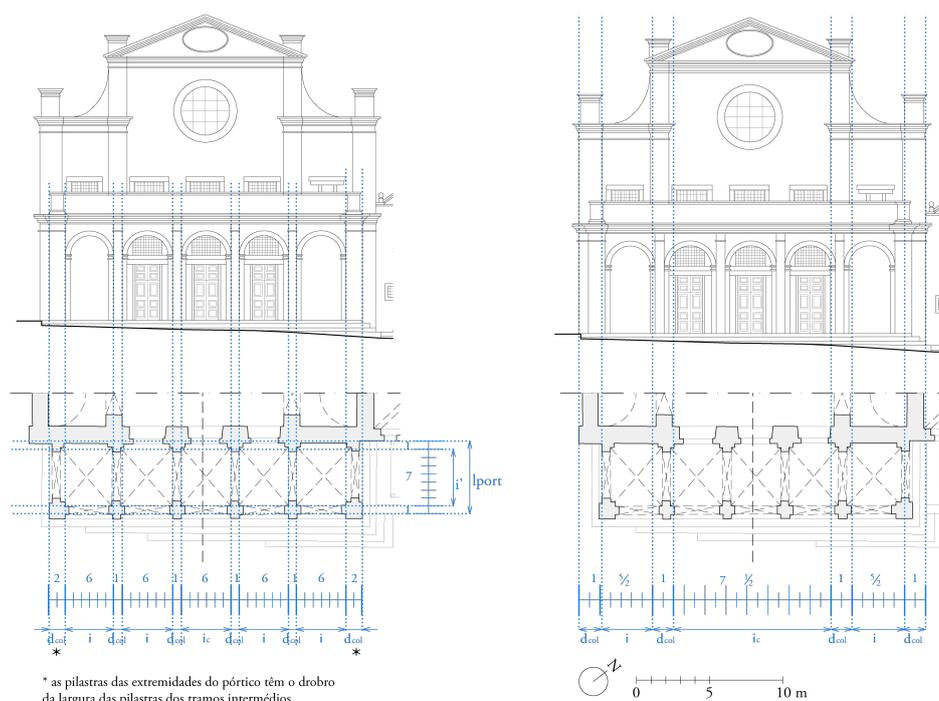


Figura 166. Frontaria da igreja do Espírito Santo, Évora, representada em alçado e num extrato da planta da igreja. À esquerda, ilustra-se a análise das proporções das partes constituintes do pórtico da galilé. À direita, a análise das proporções dos componentes do pórtico adossado ao plano recuado da frontaria.

Na frontaria do Espírito Santo distribuem-se quatro pilastras. As duas pilastras centrais alinham-se pelas paredes limite da nave, elevando-se até ao beiral do telhado da nave central. Sobre pilastras pousa um frontão – estranhamente atarracado – que acompanha a inclinação desse telhado. As pilastras das extremidades, de altura inferior às centrais, erguem-se até ao beiral das paredes laterais do corpo da igreja. Estas pilastras unem-se às pilastras centrais pela extensão de uma cornija e friso, simplificando a existência de um possível entablamento. E ainda, de modo a esconderem-se os telhados sobre as galerias altas surgem duas volutas simplificadas — uma possível herança das volutas da fachada de Santa Maria Novella, Florença.

A análise planimétrica da distribuição das pilastras (ver esquema do lado direito da Figura 166) revela que o intercolúnio ( $i$ ), relativo aos tramos laterais, aproxima-se de um espaçamento elegante (1:9/4) e que o intercolúnio central mede três dimensões do intercolúnio ( $i_c = 3i$ ), repre-

sentando *rationes* similares às inferidas do pórtico de Sant'Andrea, não obstante a diferença de composição — que em Sant'Andrea segue o arco de triunfo como arquétipo. Em suma, os números e proporções do pórtico adossado à frontaria encontram-se dentro das condições do cânone albertiano.

Tabela 37. Continuação da Tabela 36, sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja do Espírito Santo, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.

#### Pórtico (galilé)

<b>Largura</b> ( $W_{port}$ )	$W_{port} \geq W_e$						Mas não verifica a condição de continuidade com pórticos nas fachadas laterais. Nos cânones albertianos assemelha-se mais a uma <i>loggia</i> do que um pórtico de frontaria de uma igreja.
$W_{port}$ - largura do pórtico $W_e$ - largura da nave	$W_{port} = W_e + 2 i Dcol$						
<b>Profundidade</b> ( $L_{port}$ )	$Mcol \in \mathbb{N} \rightarrow L_{port} \leq 1/3 L_e$						
$L_{port}$ - profundidade do pórtico $L_e$ - profundidade da nave $Mcol$ - número de colunatas	$Mcol = 1$						
<b>Número colunas</b> ( $Ncol$ )	6						
$Ncol$ - número de colunas							
<b>Intercolúnio</b> ( $i : Dcol$ )	1:3/2	1:2	1:9/4	1:3	1:27/8	1:7 <sup>TM</sup>	1:6
$i$ - intercolúnio $Dcol$ - diâmetro da coluna	Compacto	Sub-compacto	Elegante	Sub-ampliado	Ampliado		
<b>Intercolúnio central</b> ( $i : ic$ )	1:5/4	1:1 <sup>SS</sup>	3:1 <sup>SA</sup>				
$ic$ - intercolúnio central							
<b>Intercolúnio profundidade</b> ( $i : i'$ )	1:1	6:5 <sup>SA</sup>	2:1 <sup>SS</sup>	≈ 6:7			
$i'$ - intercolúnio entre colunatas							

#### Pórtico Recuado

<b>Largura</b> ( $W_{port}$ )	$W_{port} \geq W_e$						A largura do pórtico corresponde à largura total do edifício, incluindo as capelas, situação que não verifica na linguagem albertiana.
$W_{port}$ - largura do pórtico $W_e$ - largura da nave							
<b>Profundidade</b> ( $L_{port}$ )	$Mcol \in \mathbb{N} \rightarrow L_{port} \leq 1/3 L_e$						Pórtico adossado $Mcol = 0$
$L_{port}$ - profundidade do pórtico $L_e$ - profundidade da nave $Mcol$ - número de colunatas							
<b>Número colunas</b> ( $Ncol$ )	4						
$Ncol$ - número de colunas							
<b>Intercolúnio</b> ( $i : Dcol$ )	1:3/2	1:2	1:9/4	1:3	1:27/8	1:7 <sup>TM</sup>	2:5
$i$ - intercolúnio $Dcol$ - diâmetro da coluna	Compacto	Sub-compacto	Elegante	Sub-ampliado	Ampliado		≈ 1:9/4
<b>Intercolúnio central</b> ( $i : ic$ )	1:5/4	1:1 <sup>SS</sup>	3:1 <sup>SA</sup>				
$ic$ - intercolúnio central							
<b>Intercolúnio profundidade</b> ( $i : i'$ )	1:1	6:5 <sup>SA</sup>	2:1 <sup>SS</sup>	não se aplica			
$i'$ - intercolúnio entre colunatas							

$x : y$  variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria* nem dos edifícios de Alberti

$x : y$  variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria* ou dos edifícios de Alberti

$x : y$  variáveis que verificam de descrições dos edifícios de Alberti não descritas no *De re aedificatoria*

$x : y$  variáveis que verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas.

<sup>TM</sup> condições inferidas do T. Malatestiano; <sup>SS</sup> condições inferidas de San Sebastiano; <sup>SA</sup> condições inferidas de Sant'Andrea.

#### 5.4.2. A igreja do Espírito Santo como referência para a derivação de duas soluções de projeto segundo os cânones albertianos

Para análise de correspondências entre a igreja do Espírito Santo e o universo de soluções da GF<sub>AE</sub>, foram derivadas duas soluções de projeto. A primeira, que se passa a designar de *Solução A*, segue fielmente as condições das regras de forma da GF<sub>AE</sub>, aplicando valores idênticos, ou os mais aproximados (ver coluna III da Tabela 38) dos números e proporções inferidos da análise da planta igreja de Évora (ver coluna V da Tabela 38). A outra solução, designada de *Solução B*, segue igualmente os dados inferidos da igreja do Espírito Santo, contudo, de modo a derivar uma solução com cinco capelas em cada uma das laterais da cela, à imagem da composição da igreja portuguesa, não são respeitadas todas as condições descritas nas *Regras 3. Abertura de capelas laterais*<sup>280</sup> da GF<sub>AE</sub>.

Segundo as condições das *Regras 3*, dada a proporção da cela (3:8) e a proporção da abertura da capela-mor ( $W_c = 1/2 W_i$ ), aplicadas na *Regra 1. Delineamento da cela* e *Regra 2. Abertura da capela-mor*, o número de capelas laterais que se desenvolvem nas laterais não poderá ser superior a três. Isto é, não se podem adicionar quatro capelas por ser um número par e a adição de cinco capelas laterais resultaria em ossaturas cujas dimensões não verificam o conjunto de *rationes* espectáveis no seu delineamento<sup>281</sup>.

Por outro lado, na derivação da *Solução B* experimentou-se um desvio às condições da GF<sub>AE</sub> pela adição de cinco capelas — o número da capelas existentes na igreja do Espírito Santo — com o intuito de perceber se essa transformação das *Regras 3* permite a derivação de uma solução mais próxima do modelo português do que a *Solução A*.

A Figura 167 apresenta a derivação da *Solução A* pela subsequente aplicação das regras de forma da GF<sub>AE</sub> e respetivas condições, resultando numa solução de projeto pertencente à linguagem albertiana especificada na GF<sub>AE</sub>. Na Figura 168, repete-se o processo para a derivação da *Solução B*, pela subsequente aplicação das regras de forma da GF<sub>AE</sub> e respetivas condições, à exceção das condições das *Regras 3*, resultando numa solução de projeto parcialmente pertencente à linguagem albertiana especificada na GF<sub>AE</sub>.

O processo de derivação das duas soluções e o seu resultado final diferenciam-se nas condições usadas nas *Regras 3. Abertura de capela laterais* e nas *Regras 7. Ligação de paredes das capelas e cela* — aplicadas na derivação das ligações entre as paredes das capelas e as paredes da cela — uma vez que as regras do conjunto de *Regras 7* aplicam-se a relações espaciais e marcadores específicos e, portanto, dependentes da solução herdada. Não obstante, a *Solução A* e *Solução B* coincidem no delineamento da cela, capela-mor e pórtico.

---

<sup>280</sup> Ver Anexo VI. Gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti.

<sup>281</sup> Conforme explicitado no esquema da Figura 40. Análise de correspondências entre a dimensão das aberturas das capelas laterais e o comprimento da cela.

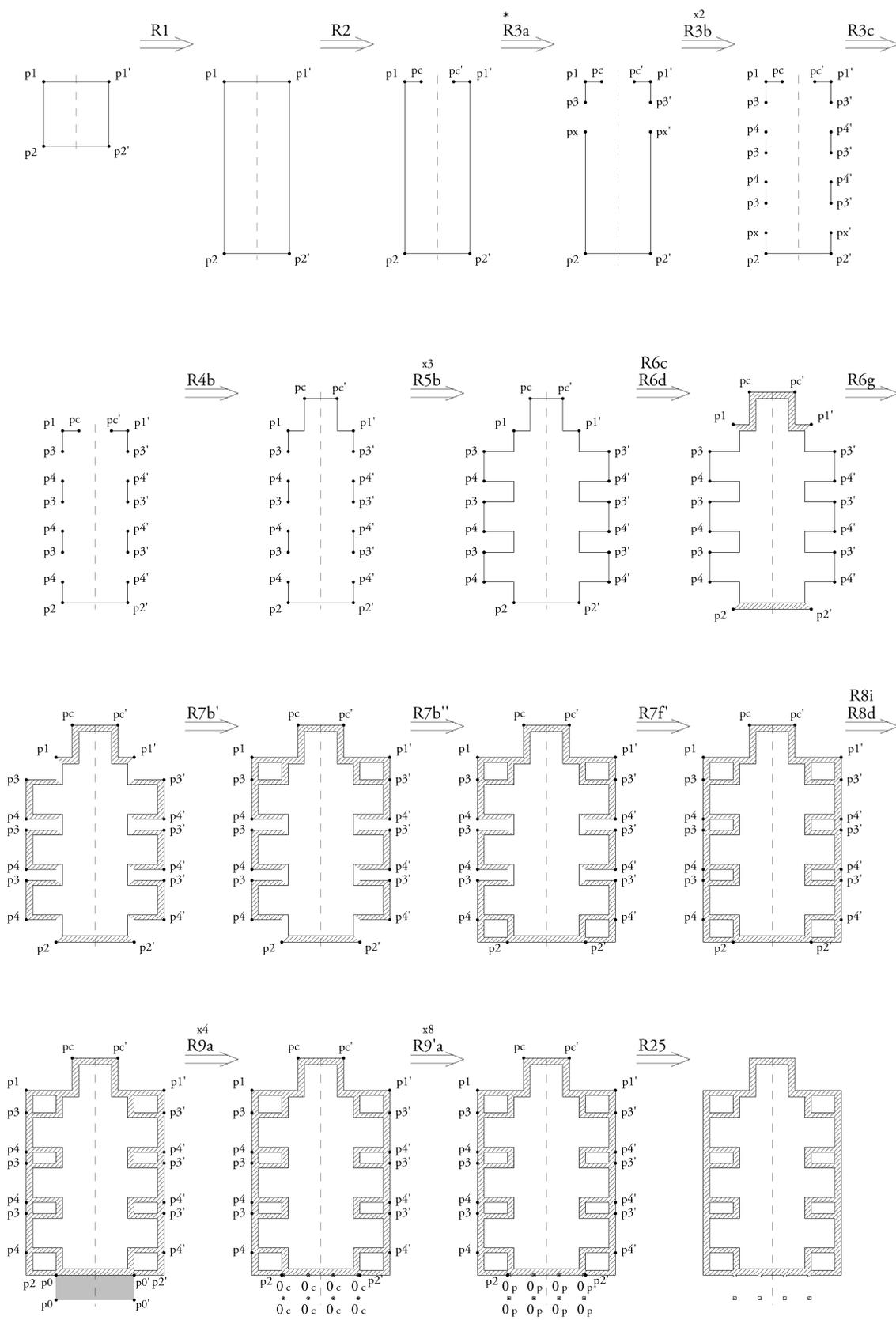


Figura 167. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> — pela aplicação passo a passo de regras de forma — com afinidades relativamente à planta da igreja do Espírito Santo.

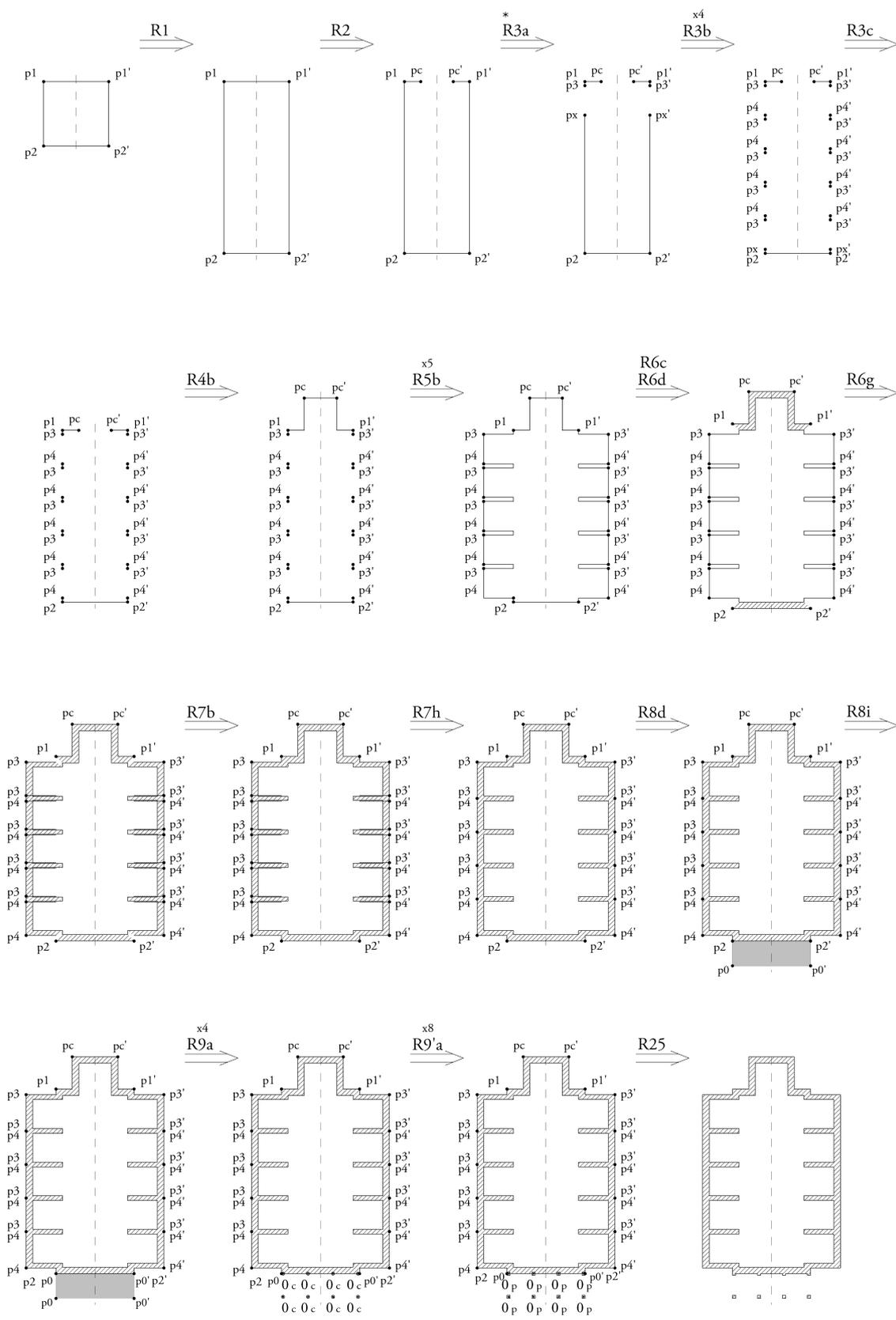


Figura 168. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> — pela aplicação passo a passo de regras de forma — com afinidades relativamente à planta da igreja do Espírito Santo.

### 5.4.3. Vestígios de duas soluções de projeto albertiano na planta da igreja do Espírito Santo

Na Figura 169 sobrepõem-se as duas soluções de projeto da GF<sub>AE</sub> à planta da igreja do Espírito Santo, com a finalidade de realçar os aspectos em que convergem e divergem.

As características dos dois projetos que mais se aproximam da planta da igreja Jesuíta são: (1) a largura total do corpo da igreja, demonstrando que GF<sub>AE</sub> é capaz de gerar soluções com a mesma a largura da cela, profundidade das capelas laterais e espessura das paredes; (2) nos pórticos, onde a profundidade e dimensão dos intercolúnios das pilastras se aproxima da disposição do pórtico da galilé. No âmbito dos aspectos convergentes, acresce que na *Solução A* (lado esquerdo da Figura 169) (3) a largura da ossatura que separa as capelas laterais se assemelha à largura da ossatura da igreja portuguesa. E, na *Solução B*, (4) o número e modulação das capelas laterais evidencia uma grande convergência com a modulação e largura interna das capelas laterais do Espírito Santo.

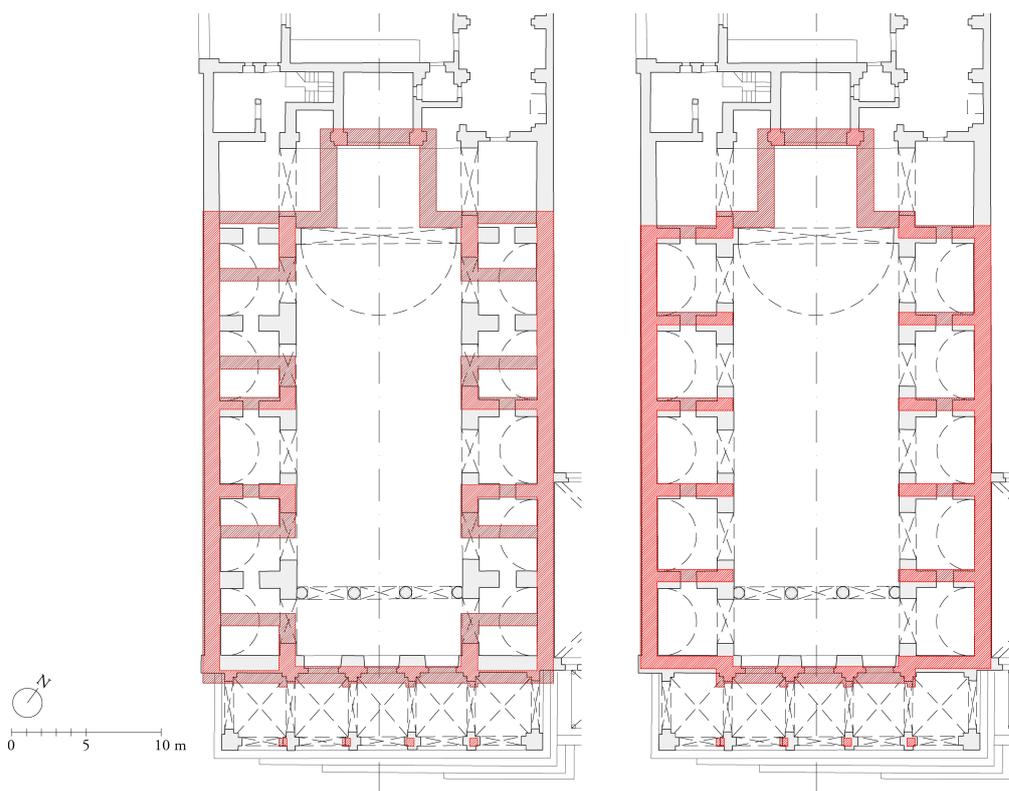


Figura 169. Sobreposição da planta da igreja do Espírito Santo com plantas geradas pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho). À esquerda, *Solução A* com três pares de capelas laterais. À direita, *Solução B* com cinco pares de capelas laterais pela adaptação das condições da *Regra 3. Abertura de capelas laterais*.

Aparentemente em maior número, os aspectos discordantes das soluções de projeto *A* e *B*, com a planta da igreja do Espírito Santo, que se destacam são: (1) as proporções das celas são mais curtas; (2) às quais se associa a impossibilidade das capelas-mores coincidirem no seu posicionamento; (3) as paredes das cabeceiras não incluem as aberturas de nichos; (4) as capelas laterais não têm ligações intercomunicantes; (5) tal como na solução gerada para a igreja de São Roque, o perímetro exterior da capela-mor das soluções *A* e *B* destaca-se do corpo do edifício por não incluir a compartimentação de espaços secundários adjacentes à capela-mor, não permitindo que o corpo do projeto con-

forme um traçado regular; (6) os pórticos não se estendem para lá da largura das naves, não abrangendo a totalidade da largura do pórtico da galilé do Espírito Santo. Específicos à *Solução A*, podem-se referir: (1) o número e disposição das capelas laterais; (2) a existência de compartimentos entre as capelas laterais. E ainda, como aspecto divergente específico da *Solução B*, o sobredimensionamento das aberturas das capelas laterais, em detrimento do subdimensionamento das ossaturas<sup>282</sup>.

A morfologia da composição interna da *Solução B*, se comparada com a *Solução A*, aproxima-se mais da planta da igreja do Espírito Santo. Porém, mais do que aferir qual das soluções é mais convergente com a igreja de Évora, interessa refletir que no processo de derivação da *Solução B*, a adaptação de algumas condições das regras de forma, nomeadamente, pelo alargamento de relações proporcionais admissíveis ou, pela supressão da aplicação de condições mais restritivas, poderão emergir relações espaciais mais convergentes com os modelos portugueses, sem que se perca a identidade morfológica das soluções de projeto.

#### 5.4.4. Avaliação do grau de correlação da gramática

Para avaliação do grau de correlação da GF<sub>AE</sub> com a planta da igreja do Espírito Santo, através de MRLS, procedeu-se de modo similar ao descrito no âmbito da igreja de São Roque. Com efeito, na coluna III da Tabela 38, listam-se as variáveis dependentes (Y), relativas aos números e proporções presentes na planta da igreja jesuíta e, na coluna V, as variáveis independentes (X), relativas a números e proporções presentes nas descrições da GF<sub>AE</sub>.

O Gráfico 5 permite observar a dispersão das variáveis dependentes relativamente à reta de regressão. Globalmente, não existe uma grande dispersão, ao que corresponde uma forte relação entre as variáveis dependentes e independentes. Todavia, os parâmetros relativos à abertura profundidade das capelas laterais (Wcl e Lcl) distanciam-se mais da reta de regressão do que as restantes variáveis. A dispersão destes parâmetros justifica-se pela configuração atípica das capelas laterais, onde não existe correspondência entre as ossaturas e o limite interno das capelas, como relatado anteriormente (ver Figura 165).

Em consonância com a forte relação ilustrada no gráfico de dispersão, o coeficiente de regressão obtido é de 95,8% ( $R = 0,958$ ), confirmando uma forte correlação entre as variáveis. Bem como, o elevado coeficiente de determinação de 91,7% ( $R^2 = 0,917$ ), refletindo a capacidade das proporções presentes no cânone albertiano (variáveis independentes, X) explicitarem as proporções presentes na planta da igreja do Espírito Santo (variáveis dependentes, Y).<sup>283</sup>

Posto isto, não obstante as soluções geradas pela GF<sub>AE</sub> mostrarem divergências relativamente à traça da planta igreja do Espírito Santo (Figura 169), a avaliação MRLS, propõe uma forte correlação entre as proporções e números desta igreja e as proporções e números presentes no cânone albertiano, conforme descritos nas regras de forma da GF<sub>AE</sub>.

---

<sup>282</sup> Situação que ocorre pelo do facto de Alberti não prescrever, nem “executar” capelas cuja largura se diferencia da abertura.

<sup>283</sup> O erro de previsão obtido corresponde a  $\varepsilon = 0,25295$

Tabela 38. Lista de valores inferidos do tratado e corpus de obra edificada de Alberti (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes na igreja do Espírito Santo (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões da igreja do Espírito Santo para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.

I. parâmetros	II. condições	Linguagem albertiana		Espírito Santo	
		III. variável/valor*	IV. metros <i>braccias</i>	V. variável/valor*	VI. metros <i>braccias</i>
<b>wi</b>			11,18    23,88		11,18    23,88
<b>li'<sup>1</sup></b>	li = α wi	α = 8/3	29,81    63,68	α = 8/3	28,99    61,92
<b>li</b>	com transepto	α = 3	33,54    71,64	α = 3	34,02    72,67
<b>wc</b>	wc = β wi	β = 1/2	5,59    11,94	<b>β = 1/3</b>	4,53    9,68
<b>lc</b>	lc = Θ wc	Θ = 1	5,59    11,94	<b>Θ = √4/√3</b>	10,7    22,86
<b>wcl</b>	wcl = φ wc	φ = 11/12	5,12    10,95	<b>φ ≈ 4:3</b>	3,98    8,50
<b>lcl</b>	lcl = γ wcl	γ = 1 <sup>SA</sup>	2,56    5,47	<b>γ = √3/√1</b>	2,85    6,09
<b>ws</b>	ws = φ' wcl	φ' = √4/√3 <sup>SA</sup>	5,91    8,94	<b>φ' = 1</b>	2,9    6,19
<b>tw</b>	tw = σ we	σ = 1/12	1,12    2,39	σ = 1/12	1,09    2,33
<b>twc</b>	twc = σ' tw	σ' = 1	1,12    2,39	σ' = 1	1,09    2,33
<b>twch</b>	twch = σ'' twc	σ'' = 3/4 <sup>SA</sup>	0,84    1,79	<b>σ'' = 2/3</b>	1,13    2,41
<b>we</b>	we = (1 + 2σ) / wi		13,42    28,66		13,07    27,92
<b>le<sup>1</sup></b>	le = li + 2tw		35,78    76,43		36,11    77,13
<b>i</b>	dcol = wport / (ncol (1 + δ) - 3/4 δ) δ ∈ {3/2, 2, 9/4, 3, 27/8}	δ = 1/7 <sup>TM</sup>	3,71    7,92	<b>δ = 1/6</b>	3,31    6,62
<b>ic</b>	ic = δ' i	δ' = 1 <sup>SS</sup>	3,71    7,92	δ' = i	3,31    6,62
<b>i'</b>	i' = δ'' i	δ'' = 1	3,71    7,92	<b>δ'' ≈ 6:7</b>	3,83    8,18

\* valor inferido do *De re aedificatoria* e *corpus* de edifícios de Alberti com maior correspondência com o valor inferido no edifício. **valores a vermelho** não têm correspondência com a linguagem albertiana, **valores a azul** valores inferidos das obra edificada de Alberti. nota: a unidade de medida *braccias* é referente às *braccias mantuana.*, cuja unidade corresponde a aproximadamente 0,468 metros.  
<sup>1</sup> Para o cálculo da convergência do Espírito Santo com a cânone albertiano considera-se o comprimento da cela sem área relativa ao transepto, uma vez que corresponde ao ritmo de aberturas e ossaturas mais próximo do implementado por Alberti.

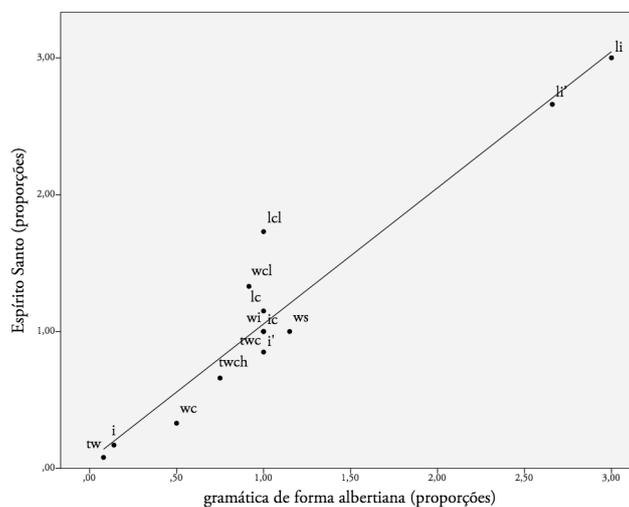


Gráfico 5. Diagrama de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da GF<sub>AE</sub> na igreja do Espírito Santo, Évora.

## 5.5. Planta da igreja de São Lourenço

### 5.5.1. Análise morfológica e proporcional à luz das regras edificatórias albertianas

A composição interna e proporções da planta da igreja de São Lourenço (1614) sucede o arquétipo das primeiras igrejas jesuítas portuguesas de São Roque e Espírito Santo. A igreja do Porto, juntamente com a Sé Nova de Coimbra (1598) e a igreja de Santo Antão (Lisboa, 1613) evoluem para um modelo que se aproxima para a igreja mãe Romana (Gomes & Lobo, 2012), pela monumentalização dos falsos transeptos, adquirindo um maior protagonismo espacial e aumento da sua escala (altura e largura), bem como, pela redução do número de capelas laterais, favorecendo o aumento das ossaturas.

Seguindo o método de análise dos casos de estudo anteriores, analisa-se a planta da igreja de São Lourenço tendo como referência as geometrias, números e proporções presentes nas regras de forma da GF<sub>AE</sub> (tarefa auxiliada pela síntese presente na Tabela 39 e Tabela 40).

(1) A análise da proporção da cela da igreja de S. Lourenço realiza-se na versão sem transepto. Porém, interessa observar que a dimensão mais ampla da cela, conforme ilustrado no esquema do lado esquerdo da Figura 163 corresponde ao *ratio*  $\sqrt{4}:2\sqrt{4+\sqrt{3}}$  (Wi:Li), configurando uma relação ausente das condições da *Regra 1*. Na versão mais curta, a cela desenvolve-se num *ratio* de aproximadamente 9:4, estabelecendo uma relação presente nas condições da GF<sub>AE</sub>, à imagem do que sucede nas igrejas de Évora e Lisboa já analisadas.

(2) Do delineamento da capela-mor, a geometria retangular e o *ratio* 1:2 (Wc:Wi) que a sua abertura toma da largura da cela, convergem com o predisposto no *De re aedificatoria*. Diverge apenas, na proporção, uma vez que é um quarto mais profunda do que as descrições do cânone albertiano, isto é, tem uma proporção de 4:5 (Lc:Wc).

(3) Na igreja de São Lourenço, os braços transversos adquirem maior protagonismo do que na igreja do Espírito Santo, esta circunstância dá-se pelo facto de planimetricamente terem uma abertura dupla na relação com as aberturas das capelas laterais, mas principalmente, por elevarem-se à altura máxima das paredes da nave — o entablamento do pórtico das laterais prolonga-se pelo perímetro interior dos braços transversos. Para esta monumentalização dos braços transversos contribui ainda o facto do arco de fecho e abóbada das capelas laterais apenas se elevarem até a aproximadamente 2:3 do ponto de arranque da abóbada da nave (face superior do entablamento).

Posto isto, as capelas laterais da igreja de São Lourenço, por não ascenderem até ao arranque da abóbada da nave, detêm o mesmo sentido de compositivo das capelas laterais das igrejas de São Roque e Espírito Santo, contudo, e em contradição com o programa jesuíta, a igreja do Porto, não possui galerias altas, nem tribunas sobre as capelas laterais. Pelo que, não obstante a contemporaneidade das igrejas de São Lourenço e S. Vicente de Fora, a primeira, estabelece-se como um modelo de transição das primeiras igrejas jesuítas portuguesas para o esquema da igreja de São Vicente de Fora (ainda que não seja uma igreja jesuíta é influenciada pelo seu modelo) e da Sé Nova de Coimbra. Nestas duas igrejas, os braços transversos erguem-se tal como em São Lourenço e as capelas laterais elevam-se até ao entablamento do pórtico da nave — que sustentam a abóbada de cobertura. Simultaneamente, esta disposição espacial constitui uma das principais similitudes entre estas

igrejas e a igreja de Sant'Andrea, e portanto, sinal de um possível influxo do edifício de Alberti, progressivamente incorporado no contexto português.

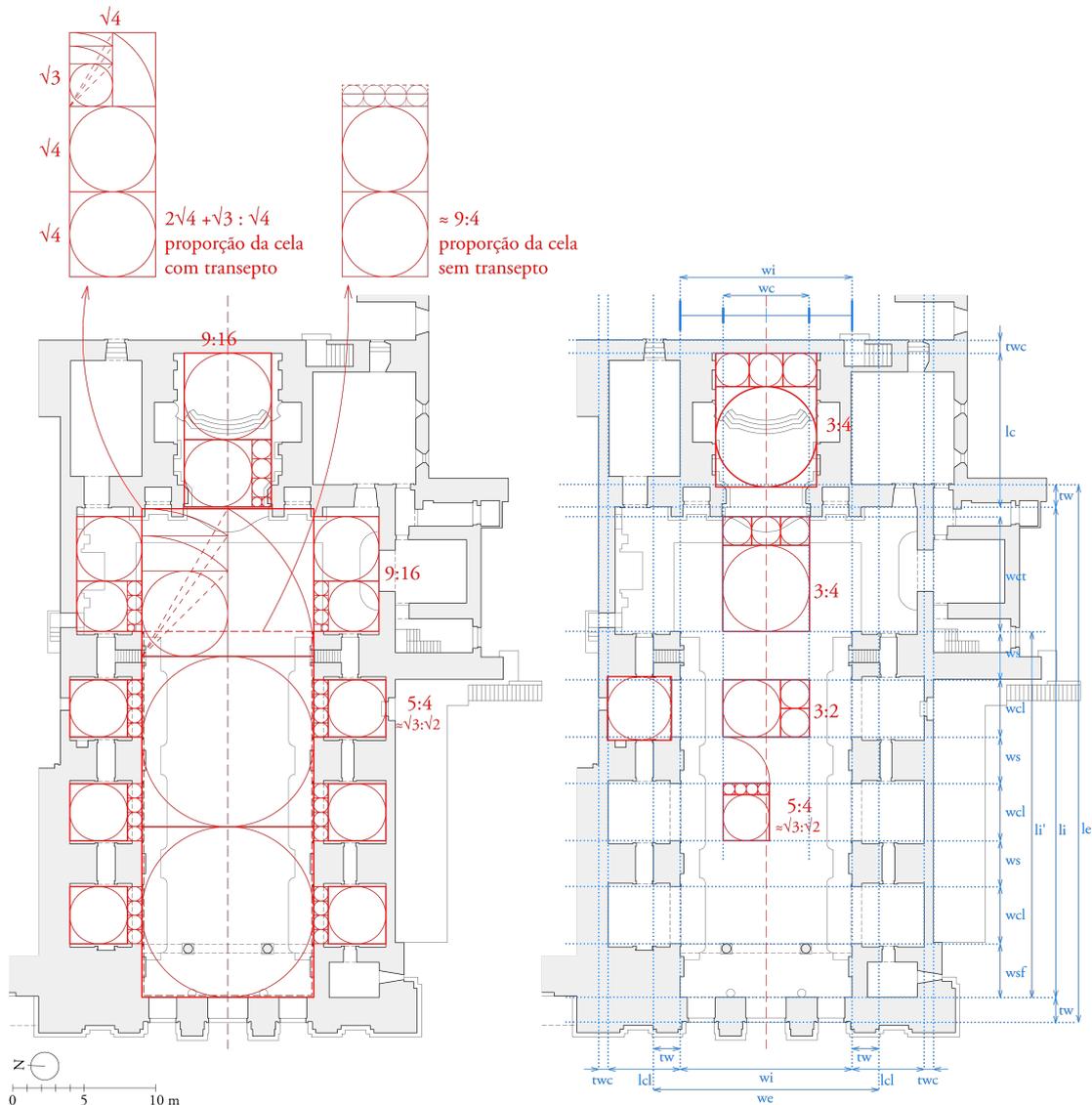


Figura 170. Análise da planta da igreja de São Lourenço, Porto. À esquerda, análise de proporções das partes constituintes da composição interna. À direita, análise das proporções da capela-mor, abertura de braços transversos e abertura de capelas nas laterais.

Retome-se a análise da igreja de São Lourenço nos aspectos relativos às capelas laterais. As laterais são ocupadas por três capelas laterais retangulares intercomunicantes. Um número e topologia consistentes com as descrições do *De re aedificatoria*.

Conforme ilustrado na Figura 163 e registado na Tabela 39, as proporções das capelas laterais não têm correspondência com as descrições da  $GF_{AE}$ . A abertura das capelas mede  $\approx 2:3$  da abertura da capela-mor ( $Wcl:Wc$ ) e a profundidade  $5:4$  dessa abertura ( $Lcl:Wcl$ ). Mas, o *ratio* de  $\approx \sqrt{2}:\sqrt{3}$ , que a ossatura toma da abertura das capelas, pertence ao conjunto de proporções inatas contempladas nas condições da  $GF_{AE}$ . Sublinhe-se, o ritmo de cheios e vazios da modulação das capelas laterais da igreja portuguesa assemelha-se ao da igreja mantuana.

(4) Novamente, os critérios de análise da espessura das paredes da igreja de S. Lourenço remetem para a abordagem realizada no âmbito da análise de S. Roque. O esquema paramétrico da Figura 171 mostra que a espessura das paredes limite da cela ( $T_w$ ) corresponde a 1:9 da largura da nave ( $W_e$ ) — uma espessura mais robusta do que nas igrejas de Lisboa e Évora já analisadas, verificando uma das proporções preconizadas no tratado de Alberti.

Por oposição, as paredes exteriores das capelas ( $T_{wc}$ ), nomeadamente, no paramento Sul, onde não existe nenhuma edificação contígua à igreja, adotam o *ratio*  $\approx 8:3$  ( $T_w:T_{wc}$ ), resultando numa espessura muito reduzida relativamente a todos os modelos estudados nesta investigação.

O terceiro parâmetro para o dimensionamento das paredes em observação, relativo aos paramentos de separação das capelas laterais, toma o *ratio* 3:4 ( $T_w:T_{wch}$ ), e também se desvia das condições das regras da  $GF_{AE}$  quando medido na relação que estabelece com a espessura das paredes da nave. É evidente o sobredimensionamento que este *ratio* indica, não obstante, existem dois dados que podem justificar este desvio. O primeiro é a inexistência de antecâmaras entre as capelas laterais, à semelhança de Sant'Andrea e São Vicente de Fora, fazendo com que a espessura destas paredes meça a quase totalidade da ossatura, evidenciada no alçado das laterais da nave. O segundo dado remete para a possibilidade da robustez destes elementos, compensar o subdimensionamento das paredes exteriores das capelas, sendo que a situação inversa, também é eventualmente plausível.

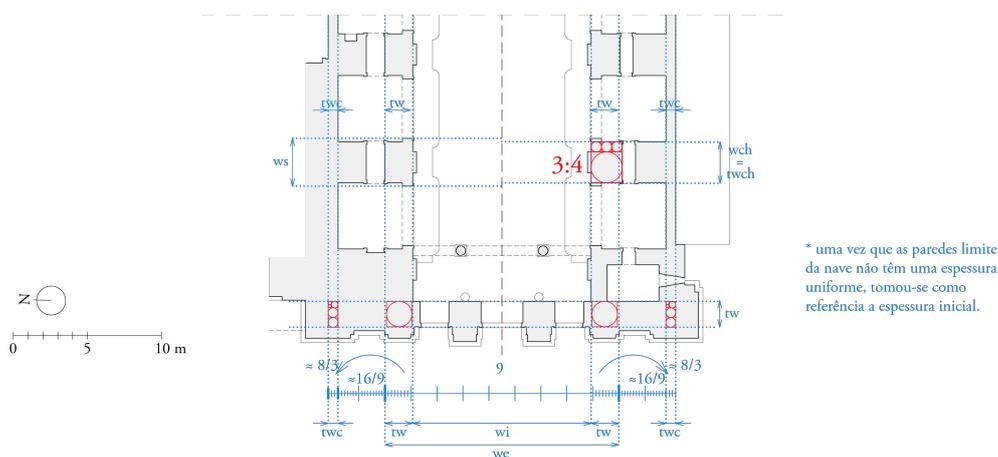


Figura 171. Extrato da planta da igreja de São Lourenço, Porto, representativo dos tramos iniciais. Análise da espessura das paredes.

Tabela 39. Sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja de São Lourenço, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.

**PLANTA**

**Cela**

Proporção (Li : Wi)	1:1	$\sqrt{4}:\sqrt{3}$	$\sqrt{3}:\sqrt{2}$	4:3	$\sqrt{2}:1$	3:2	$\sqrt{3}:1$	16:9	2:1	9:4	8:3	3:1	4:1
Li - comprimento da cela											Sem transepto	$2\sqrt{4}+\sqrt{3}:\sqrt{4}$	
Wi - largura da cela												com transepto	

<b>Capela-mor</b>	Sim	Não											
-------------------	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Abertura (Wc : Wi)	1:2	2:3	$1:\sqrt{3}^{SS}$										
Wc - abertura da capela-mor													
Wi - largura da cela													

<b>Geometria</b>	Retangular	Circular											
------------------	------------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Proporção (Lc : Wc)	1:1	1:2	16:9										
Lc - profundidade da capela													
Wc - abertura da capela-mor													

<b>Capelas laterais</b>	Sim	Não											
-------------------------	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Número Ncl	2	6	10										
------------	---	---	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Abertura (Wc : Wcl)	1:1	1:11/12	$1:4^{TM}$	3:2									
Wcl - abertura das capelas laterais													
Wc - abertura da capela-mor													

<b>Geometria</b>	Retangular	Circular	Rec/Cir	Cir/Rec									
------------------	------------	----------	---------	---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Proporção (Lcl : Wcl)	1:2	$1:1^{SA}$	5:4										
Lcl - largura da cela													
Wcl - abertura da capela													

Ossatura (Wcl : Ws)	[1:1/5 , 1: 1/3]	$1 : 1/2$	$\sqrt{4} : \sqrt{3}^{SA}$	$\sqrt{3} : \sqrt{2}^{SA}$	$\sqrt{2} : \sqrt{1}^{SA}$	$\sqrt{3} : \sqrt{1}^{SA}$	$2\sqrt{2} : \sqrt{1}$	$\rightarrow Wi = Li^{SS}$					
Ws - largura da ossatura													
Wcl - abertura da capela													

<b>Transepto</b>	Sim	Não											
------------------	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Falso/Verdadeiro	Falso												
------------------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Abertura (Wct : Wc)	4:3												
---------------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Wct - abertura dos braços												
---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

<b>Geometria</b>	Retangular												
------------------	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Proporção (Lct : Wct)	16:9												
-----------------------	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Lct - profundidade dos braços												
-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Espessura Paredes**

Nave (We:Tw)	1:12	1:9	$1:20^{TM}$										
--------------	------	-----	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

We - largura do templo												
Tw - espessura da parede												

$$H_w : T_w = H_{col} : D_{col} = 19:2$$

$H_w$  - altura das paredes  
 $D_{col}$  - diâmetro da coluna  
 $H_{col}$  - altura da acoluna

Capelas (Tw:Twc)	$2:1^{SS SA}$	1:1	$\approx 8:3$										
------------------	---------------	-----	---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tw - da nave												
Twc - das capelas												

Antecâmaras (Twc:Twch)	$3:4^{SA}$	$Twch = (Ws - wch)/2^{SA}$	4:3										
------------------------	------------	----------------------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Twc - das capelas												
Twch - das antecâmaras												

- x : y variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria* nem dos edifícios de Alberti
- x : y variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria* ou dos edifícios de Alberti
- x : y variáveis que verificam de descrições dos edifícios de Alberti não descritas no *De re aedificatoria*

<sup>TM</sup> condições inferidas do T. Malatestiano; <sup>SS</sup> condições inferidas de San Sebastiano; <sup>SA</sup> condições inferidas de Sant'Andrea.  
 \* A abertura e largura das capelas laterais são distintas, a ossatura ocupa parte do interior da capela.  
 nota: o texto a **vermelho** indica partes da igreja que Alberti não contempla, mas que evidenciam uma evolução da linguagem, tal como é o caso dos transeptos.

(5) A fachada da frontaria da igreja de São Lourenço é um dos seus elementos mais característicos. Todavia, no âmbito deste estudo, não são diretamente relevantes para este estudo os elementos estilísticos do Barroco e, em concordância metodológica com as análises efectuadas aos pórticos, mais austeros da igreja de São Roque e da igreja do Espírito Santo, interessa que a análise se centre no número, disposição e proporções das pilastras que compõem a planta do pórtico da frontaria.

Dito isto, importa referir que o pórtico da frontaria da igreja de São Lourenço caracteriza-se por ter um pano central composto por quatro pilastras e, dois panos laterais, um de cada lado, onde se erguem duas torres sineiras. Excepcionalmente, nas extremas, estão dispostas duas pilastras contíguas. A distribuição de 2+1+1+1+1+2 pilastras desenvolve-se em dois níveis no pano central e em três níveis nos panos das torres. Este sistema compositivo é análogo ao das frontarias das igrejas de São Vicente de Fora e Sé de Coimbra (e em São Roque, numa configuração sem torres), não obstante as devidas diferenças compositivas (por exemplo, na Sé de Coimbra as torres estão recuadas da frontaria e em São Vicente de Fora, as pilastras distribuem-se no esquema de 2+2+1+1+2+2).

Centrando a análise na disposição e proporções do pórtico de S. Lourenço (em planta) no seu pano central, observa-se que é convergente com as descrições das regras da GF<sub>AE</sub> nos seguintes aspectos: a sua largura do pano central corresponde à largura da cela medida pelo extradorso das paredes ( $W_e$ ); na profundidade, uma vez que está justaposto à fachada da frontaria; na utilização de pilastras; no número par de pilastras que se distribuem ao longo deste pano do pórtico ( $N_{col} = 6$ ); e no *ratio* que o intercolúnio toma da largura das pilastras ( $i = 3D_{col}$ ), representativo de um espaçamento sub-ampliado.

De entre os aspectos divergentes, consta o prolongamento do pórtico para além da nave central e o intercolúnio central que apresenta um *ratio* de 6:7 relativamente ao intercolúnio, desviando-se ligeiramente dos valores do cânone albertiano para este parâmetro.

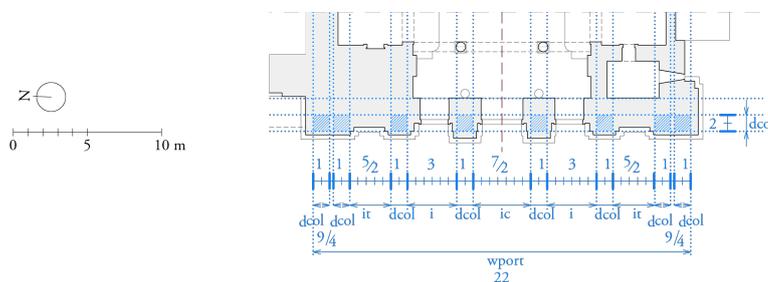


Figura 172. Extrato da planta da igreja de São Lourenço, Porto, relativo à frontaria. Análise das proporções das partes constituintes do pórtico.

Tabela 40. Sumário de características do pórtico planta da igreja de São Lourenço, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.

### Pórtico

Largura ( $W_{port}$ )	$W_{port} \geq W_e$		Mas não verifica a condição de continuidade com pórticos nas fachadas laterais. Nos cânones albertianos assemelha-se mais a uma <i>loggia</i> do que um pórtico de frontaria de uma igreja.			
$W_{port}$ - largura do pórtico $W_e$ - largura da nave	$W_{port} = W_e + 2 i D_{col}$					
Profundidade ( $L_{port}$ )	$M_{col} \in \mathbb{N} \rightarrow L_{port} \leq 1/3 L_e$					
$L_{port}$ - profundidade do pórtico $L_e$ - profundidade da nave $M_{col}$ - número de colunatas	$M_{col} = 0$					
Número colunas ( $N_{col}$ )	6	8	Há uma duplicação das pilastras das extremidades			
$N_{col}$ - número de colunas						
Intercolúnio ( $i : D_{col}$ )	1:3/2	1:2	1:9/4	1:3	1:27/8	1:7 <sup>TM</sup>
$i$ - intercolúnio $D_{col}$ - diâmetro da coluna	Compacto	Sub-compacto	Elegante	Sub-ampliado	Ampliado	
Intercolúnio central ( $i : i_c$ )	1:5/4	1:1 <sup>SS</sup>	3:1 <sup>SA</sup>	6:7		
$i_c$ - intercolúnio central						
Intercolúnio profundidade ( $i : i'$ )	1:1	6:5 <sup>SA</sup>	2:1 <sup>SS</sup>	não se aplica		
$i'$ - intercolúnio entre colunatas						

$x : y$

variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria* nem dos edifícios de Alberti

$x : y$

variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria* ou dos edifícios de Alberti

$x : y$

variáveis que não verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas

$x : y$

variáveis que verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas.

<sup>TM</sup> condições inferidas do T. Malatestiano; <sup>SS</sup> condições inferidas de San Sebastiano; <sup>SA</sup> condições inferidas de Sant'Andrea.

### 5.5.2. A igreja de São Lourenço como referência para a derivação de uma solução de projeto segundo os cânones albertianos

A Figura 173 ilustra a derivação da planta de um edifício sagrado de base retangular pela sucessiva aplicação de regras de forma da  $GF_{AE}$ . Neste processo, os parâmetros adotam valores inferidos do *De re aedificatoria* e *corpus* de obras edificadas de Alberti, conforme desenvolvido nos capítulos 3 e 4, sendo iguais, ou os mais aproximados (ver coluna III da Tabela 41) dos números e proporções deduzidos da planta de São Lourenço (ver coluna V da Tabela 41).

Similarmente às soluções da  $GF_{AE}$  derivadas no âmbito das análises das igrejas de São Roque e Espírito Santo, na derivação da solução da igreja do Porto, adota-se o *ratio* 9:4 ( $L_i:W_i$ ) relativo à proporção da cela sem transepto, consistindo num Um *ratio* que confere as condições da *Regra 1. Delineamento da cela.*

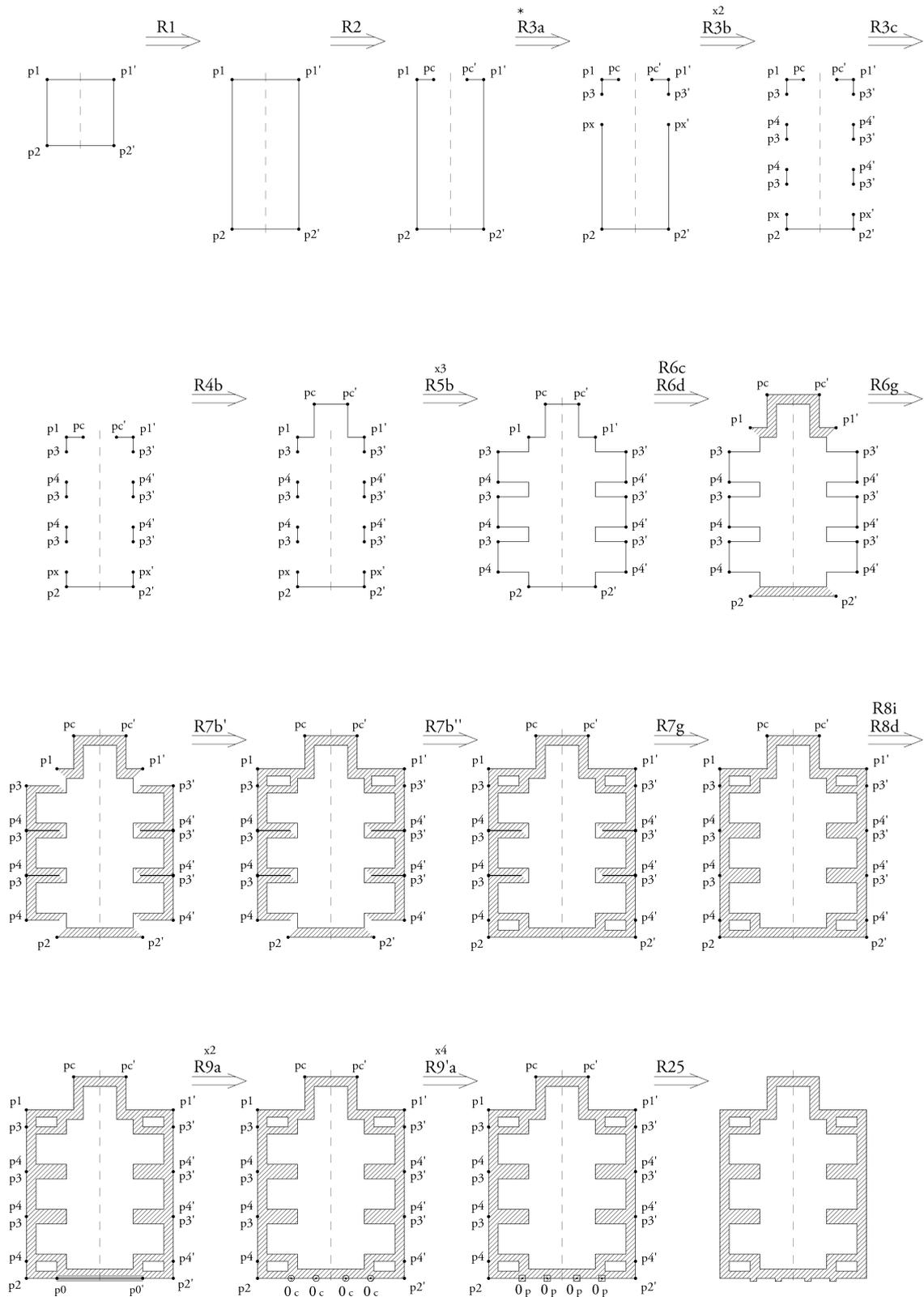


Figura 173. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> - pela aplicação passo a passo de regras de forma – com maior afinidade com a atual planta da igreja de São Lourenço, Porto..

### 5.5.3. Vestígios de uma solução de projeto albertiano

Através da sobreposição da solução de projeto gerada pela GF<sub>AE</sub> com a planta da igreja de São Lourenço (Figura 174) destacam-se um conjunto de relações de convergência e divergência entre ambas. Os dois projetos coincidem nos seguintes aspectos: (1) se excluído o tramo do transepto e a cabeceira de São Lourenço, a compartimentação, a morfologia e as proporções globais do restante corpo da solução derivada da gramática são representativas do edifício português; (2) inerente ao aspecto anterior, mas que importa salientar, é a similitude da disposição modular e proporção das capelas laterais e as respetivas ossaturas interpostas; (3) finalmente, a disposição planimétrica das pilastras no pano central do pórtico converge com o número e colocação das pilastras, nessa parte do pórtico de São Lourenço.

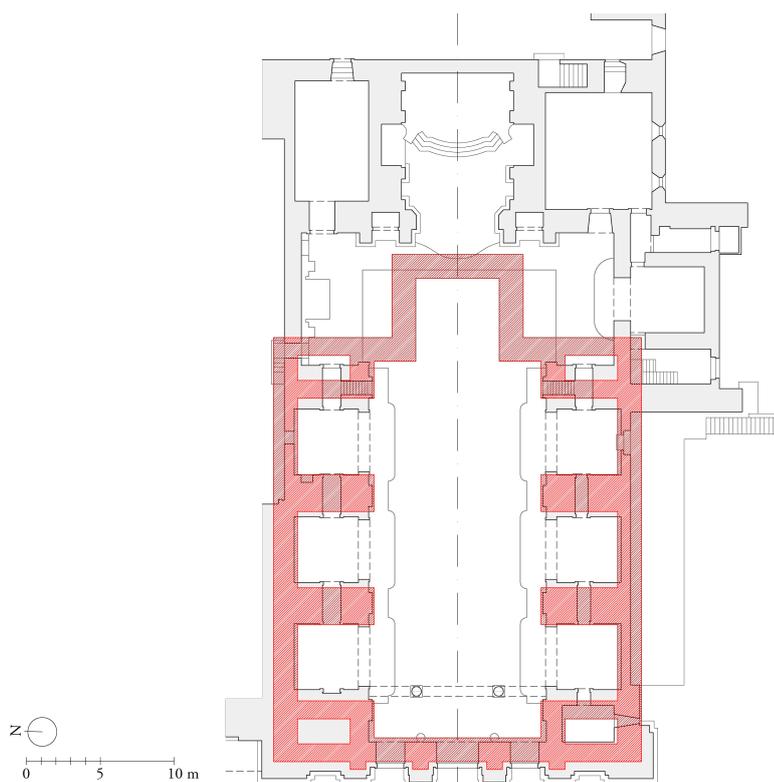


Figura 174., Sobreposição da planta da igreja de São Lourenço, Porto, com planta gerada pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho).

Como características divergentes sobressaem os seguintes aspectos: (1) a profundidade da cela é mais curta; (2) não conforma os braços transversos e respetivo transepto; (3) associado a estes factos, a dependência da capela-mor da posição da cela, coloca-a numa posição avançada relativamente à cabeceira; (4) a profundidade da capela-mor é menor na solução gerada pela GF<sub>AE</sub>; (5) no alçado da cabeceira não se abrem nichos; (6) as capelas laterais não têm ligações intercomunicantes; (5) de modo similar às soluções geradas para as igrejas de São Roque e Espírito Santo, o perímetro exterior da capela-mor está saliente do corpo do edifício, uma vez que não são gerados espaços secundários, adjacentes à capela-mor, de modo a integrar a cabeceira e o corpo da igreja num traçado regular; (7) a espessura das paredes exteriores das capelas laterais é superior às respetivas paredes de S. Lourenço;

(8) o pórtico é mais estreito do que em S. Lourenço, nomeadamente, por não derivar os panos laterais, adossados aos corpos das torres; (9) a GF<sub>AE</sub> também não prevê a geração de duas pilastras contíguas, isto é, numa disposição, em que o intercolúnio tende para 0.

#### 5.5.4. Avaliação do grau de correlação da gramática

Por recurso a MRLS avalia-se o grau de correlação do conjunto de números e proporções presentes na planta da igreja de S. Lourenço — variáveis dependentes (ver coluna V da Tabela 41) — e o conjunto de números e proporções descritas da GF<sub>AE</sub>, mais afins das primeiras — variáveis independentes (ver coluna III da Tabela 41). Estes dados permitiram caracterizar o seu grau de correlação, pela geração de um gráfico de dispersão, cálculo do coeficiente de regressão e coeficiente de determinação.

Tabela 41. Lista de valores inferidos do tratado e corpus de obra edificada de Alberti (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes na igreja de São Lourenço (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões da igreja de São Lourenço para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.

I. parâmetros	II. condições	Linguagem albertiana		São Lourenço	
		III. variável/valor*	IV. metros <i>braccias</i>	V. variável/valor*	VI. metros <i>braccias</i>
<b>wi</b>			11,85    25,31		11,85    25,31
<b>li'</b> <sup>1</sup>	li = α wi	α = 9/4	26,66    56,95	α = 9/4	25,44    54,34
<b>li</b>	com transepto	α = 3	35,55    75,93	α = 4+√3/2	33,42    71,39
<b>wc</b>	wc = β wi	β = 1/2	5,92    12,65	β = 1/2	5,48    11,71
<b>lc</b>	lc = Θ wc	Θ = 1	5,92    12,65	Θ = 16/9	10,7    22,86
<b>wcl</b>	wcl = φ wc	φ = 11/12	5,43    11,59	φ = 3/2	3,98    8,50
<b>lcl</b>	lcl = γ wcl	γ = 1 <sup>SA</sup>	5,43    11,59	γ = 4/5	4,97    10,62
<b>ws</b>	ws = φ' wcl	φ' = √2/√3 <sup>SA</sup>	4,43    9,47	φ' = √2/√3	3,23    6,90
<b>tw</b>	tw = σ we	σ = 1/9	1,69    3,61	σ = 1/9	1,85    3,95
<b>twc</b>	twc = σ' tw	σ' = 1	1,69    3,61	σ' = 8:3	0,65    1,39
<b>twch</b>	twch = σ'' twc	σ'' = 3/4 <sup>SA</sup>	1,27    2,71	σ'' = 4/3	2,75    5,87
<b>we</b>	we = (1 + 2σ) / wi		15,23    32,53		15,54    33,19
<b>le</b> <sup>1</sup>	le = li + 2tw		30,04    64,65		29,14    62,24
<b>i</b>	dcol = wport / (ncol (1 + δ) - 3/4 δ) δ ∈ {3/2, 2, 9/4, 3, 27/8}	δ = 1/3	3,27    6,98	δ = 1/3	3,28    7,01
<b>ic</b>	ic = δ' i	δ' = 5/4	4,09    8,73	δ' = 6/7	3,82    8,16

\* valor inferido do *De re aedificatoria* e *corpus* de edifícios de Alberti com maior correspondência com o valor inferido no edifício. **valores a vermelho** não têm correspondência com a linguagem albertiana, **valores a azul** valores inferidos das obra edificada de Alberti. nota: a unidade de medida *braccias* é referente às *braccias mantuana.*, cuja unidade corresponde a aproximadamente 0,468 metros.

<sup>1</sup> Para o cálculo da convergência de São Lourenço com a cânone albertiano considera-se o comprimento da cela sem área relativa ao transepto, uma vez que corresponde ao ritmo de aberturas e ossaturas mais próximo do implementado por Alberti.

O gráfico de dispersão (Gráfico 6) mostra a proximidade entre as variáveis dependentes e a reta de regressão, indicando uma razoavelmente forte relação entre ambas. Dos parâmetros em análise, o

menos convergente é a espessura das paredes externas das capelas laterais (Twc), resultado do subdimensionamento da espessura destas paredes, inclusive, se comparadas com os restantes edifícios em estudo.

As proporções descritas na GF<sub>AE</sub> (variáveis independentes, X) e as proporções inferidas da planta de S. Lourenço (variáveis dependentes, Y) apresentam coeficientes de regressão e determinação de 87,3% ( $R = 0,873$ ) e 76,2% ( $R^2 = 0,762$ ), respetivamente. Estes valores, apesar de menores do que os calculados nos restantes casos portugueses em estudo, indicam uma razoável correlação e capacidade de explicitação das proporções da planta portuguesa<sup>284</sup>.

Em suma, a avaliação por MRLS aponta uma razoável correlação entre as proporções e números de S. Lourenço e as proporções e números presentes no cânone albertiano, conquanto, a solução de projeto da GF<sub>AE</sub> apresenta, simultaneamente, características convergentes e divergentes da traça da planta da igreja do portuguesa (Figura 174).

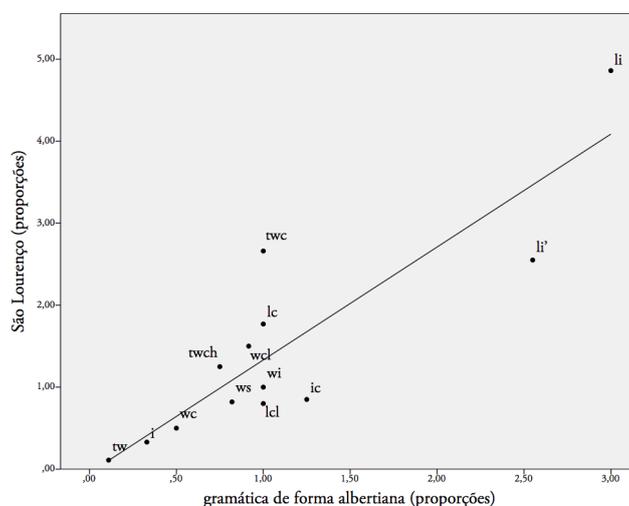


Gráfico 6. Gráfico de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da GF<sub>AE</sub> na igreja de São Lourenço, Porto.

<sup>284</sup> O erro de precisão obtido corresponde a  $\varepsilon = 0,65478$

## 5.5. Planta da igreja de São Vicente de Fora

### 5.5.1. Análise morfológica e proporcional à luz das regras edificatórias albertianas

A planta de São Vicente de Fora é composta por nave única, capela-mor profunda e retrocoro, separados por um baldaquino. As laterais são abertas por abrem três capelas intercomunicantes e interrompidas por braços transversos que configuram um transepto inscrito. O volume da frontaria é caracterizado por uma compartimentação tripartida, resultante da existência de um vestíbulo central (nártex) com a largura da nave e, lateralmente, volumes de torres sineiras.

Planimetricamente, a disposição deste vestíbulo, com a mesma largura da nave e três passagens, pronuncia o possível débito que a composição desta igreja tem para com Sant'Andrea<sup>285</sup>. A proposta desta analogia é moderada, isto é, centra-se essencialmente nos dois factos descritos, uma vez que, na igreja de Lisboa, as três aberturas são idênticas, ao passo que a igreja de Mântua segue o arquétipo do arco de triunfo, onde a abertura central de tem um escala maior do que as restantes. E ainda, porque ao contrário do que sucede em Sant'Andrea, onde o pórtico se destaca do corpo da igreja, em S. Vicente de Fora, ao pórtico de entrada estão contíguos os volumes das torres sineiras, configurando uma frontaria com a mesma largura do corpo da igreja.

O processo de análise da morfologia e proporções da planta igreja de São Vicente de Fora, tendo como referente as regras edificatórias albertianas que formulam a  $GF_{AE}$ , segue o método apresentado nos subcapítulos anteriores (tarefa auxiliada pela síntese presente na Tabela 42 e Tabela 43).

(1) Curiosamente, ao contrário das restantes igrejas portuguesas retratadas neste trabalho, as proporções ( $Wi:Li$ ) da cela de São Vicente de Fora deduzidas (ver planta do lado esquerdo da Figura 175) na versão com amplitude total, com o *ratio*  $\approx 7:2$ , e na versão sem transepto com o *ratio*  $\approx 5:2$ , não estão presentes no *De re aedificatoria*, nem na obra construída de Alberti<sup>286</sup>.

(2) A abertura da capela-mor de São Vicente de Fora ocupa a totalidade da largura da cela ( $Wc=Wi$ ), uma disposição que não verifica as condições da *Regra 2. Abertura da capela-mor* da  $GF_{AE}$ . Com efeito, é divergente do cânone albertiano, mas também, das restantes igrejas portuguesas estudadas neste capítulo, uma vez que destes exemplos, a capela-mor de S. Vicente de Fora é a única em que a abertura é completa relativamente à cela. Por outro, a sua geometria de base retangular e a profundidade igual à abertura ( $Lc=Wc$ ) convergem com o predisposto no tratado de Alberti.

(3) As laterais de São Vicente de Fora são abertas por três capelas de planta retangular intercomunicantes. Tal como na igreja de São Lourenço, correspondem a uma geometria e número consentâneos com o *De re aedificatoria*. Porém, o *ratio* 2:5, relativo à abertura das capelas na relação

---

<sup>285</sup> No subcapítulo anterior, a propósito da análise da igreja de S. Lourenço, fez-se referência a outras semelhanças na composição de S. Vicente de Fora e Sant'Andrea, reforçando o argumento de débito da igreja portuguesa relativamente à obra edificada de Alberti. Nomeadamente, no delineamento das capelas laterais, tanto na modulação, intercalada por ossaturas, como na elevação das suas aberturas até ao entablamento do pórtico de arquitrave das laterais, a partir do qual, arranca a abóbada de berço da nave. Bem como, no facto do pórtico de arquitrave das laterais, os panos das ossaturas estarem ornamentados por duas pilastras, uma em cada extremidade – marcando a abertura das capelas.

<sup>286</sup> Mais adiante, após descrição dos resultados da avaliação de correlação das proporções de São Vicente de Fora com os cânones albertianos, avalia-se o impacto global da divergência das proporções da cela nessa avaliação. Nomeadamente, através da distância do parâmetro  $Li$ , relativamente à reta de regressão, como apresentado no gráfico de dispersão (Gráfico 7).

com a abertura da capela-mor ( $Wcl:Wc$ )<sup>287</sup> e, o *ratio*  $\sqrt{4}:\sqrt{3}$ , referente à profundidade que as capelas tomam da abertura ( $Lcl:Wcl$ ) são divergentes das condições das *Regras 3* da  $GF_{AE}$  relativas à abertura de capelas laterais.

De novo, o *ratio*  $\sqrt{3}:\sqrt{4}$  está presente na relação entre a dimensão das ossaturas e aberturas das capelas (ver esquema do lado direito da Figura 175). Por antítese às condições para o cálculo do parâmetro relativo à profundidade das capelas ( $Lcl$ ) o *ratio*  $\sqrt{3}:\sqrt{4}$  inscreve-se no conjunto de números inatos descritos por Alberti no Livro IX e igualmente presentes no delineamento das ossaturas e capelas de Sant'Andrea. Razão para se incluírem nas condições da  $GF_{AE}$  para o cálculo do parâmetro das ossaturas.

(4) Em São Vicente de Fora, tal como nas igrejas de São Roque e Espírito Santo, a espessura das paredes da nave corresponde ao *ratio* 1:12 da largura da cela, medida pelo extradorso das suas paredes ( $Tw$ ) (ver esquema paramétrico da Figura 176). Se a espessura destas paredes converge com as condições da  $GF_{AE}$ , a espessura das paredes de limite exterior das capelas ( $Twc$ ) — com o *ratio*  $\sqrt{1}:\sqrt{3}$  ( $Twc:Tw$ ) — e a espessura das paredes das antecâmaras situadas entre as capelas laterais ( $Twch$ ) — com o *ratio* 1:1 ( $Twch:Twc$ ) — são divergentes das condições para o cálculo dos respetivos parâmetros.

(5) No âmbito da análise da planta do pórtico de São Lourenço (subcapítulo 5.4.1. ), referiu-se que o pórtico da frontaria de São Vicente de Fora divide-se em três panos: um central, com a largura da nave; e dois laterais, mais estreitos, onde se elevam as torres sineiras. Com uma ornamentação mais austera do que a igreja do jesuíta do Porto, o pano central do pórtico de S. Vicente de Fora desenvolve-se em dois níveis de pórticos de arquitrave e, nos panos laterais, em três níveis. Planimetricamente, corresponde à distribuição de 2+2+1+1+2+2 pilastras, em que as 2+2 pilastras das extremas desenvolvem-se nos três níveis de pórticos das torres (Figura 177).

No início da análise da planta de S. Vicente de Fora propôs-se observar o vestíbulo de entrada como um pórtico solto da frontaria, à imagem da disposição do pórtico de Sant'Andrea. E deste modo, estabelecer critérios específicos na procura de possíveis influxos do modelo albertiano no *corpus* de igrejas portuguesas.

Em sequência, conforme relações deduzidas do esquema ilustrado na Figura 177 (planta superior) e registadas na Tabela 43, os parâmetros que intervêm na derivação da planta do pano central do pórtico de S. Vicente de Fora são convergentes com as descrições das regras da  $GF_{AE}$  nos seguintes aspectos: a largura do pano central ( $W_{port}$ ) corresponde à largura da cela, medida pelo extradorso das paredes ( $We$ ); o pórtico solta-se da parede limite da nave numa distância que verifica as condições do parâmetro relativo à profundidade do pórtico ( $L_{port} \leq 1/3 Le$ ); na utilização de pilastras; no número par de pilastras que se distribuem ao longo deste pano do pórtico ( $N_{col} = 4$ ); no *ratio* 7:2 que o intercolúnio toma da largura das pilastras, aproximando-se de um espaçamento ampliado ( $i \approx 27/8 D_{col}$ ); o intercolúnio central é igual ao intercolúnio ( $i_c = i$ ), tal como sucede em

---

<sup>287</sup> Esta discrepância pode ser parcialmente justificada pelo facto da abertura da capela-mor ser igual à largura da cela. Isto é, dada dependência entre os dois parâmetros ( $Wcl$  de  $Wc$ ) e o desfasamento da abertura da capela-mor face às condições albertianas, não obstante, a proporção da modularização das capelas laterais aproximar-se da composição de Sant'Andrea, o parâmetro relativo à abertura das capelas laterais desviar-se-á do previsto nas *Regras 3* da  $GF_{AE}$ .



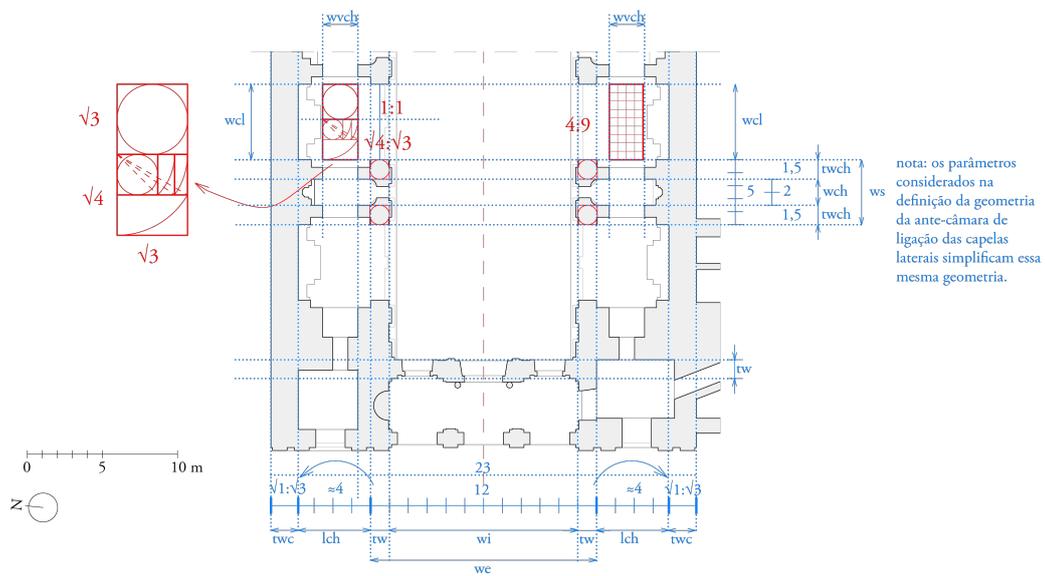


Figura 176. Extrato da planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa, representativo dos tramos iniciais. Análise da espessura das paredes.

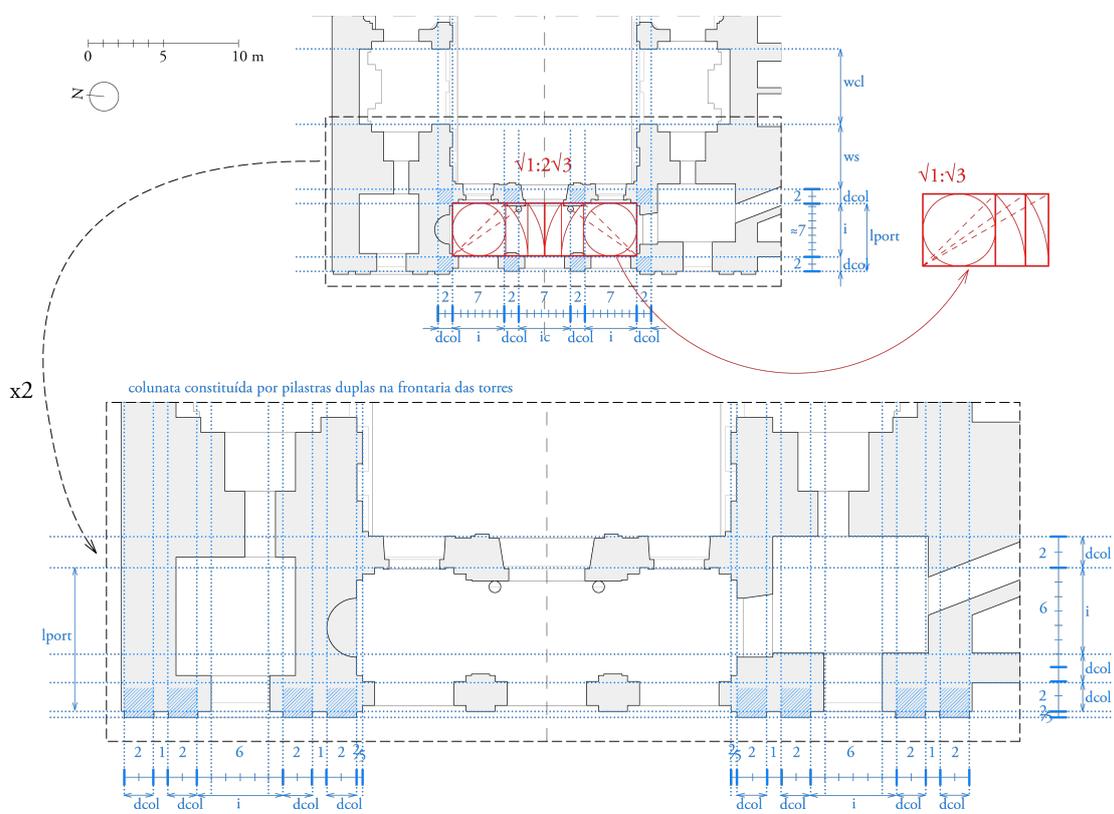


Figura 177. Extrato da planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa, relativo à frontaria. Em cima, análise das proporções das partes constituintes do pano central do pórtico. Em baixo, análise das proporções das partes constituintes dos panos laterais do pórtico.

Tabela 42. Sumário de características morfológicas e proporcionais das planta da igreja de São Vicente de Fora, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.

**PLANTA**

**Cela**

Proporção (Li : Wi)	1:1	$\sqrt{4}:\sqrt{3}$	$\sqrt{3}:\sqrt{2}$	4:3	$\sqrt{2}:1$	3:2	$\sqrt{3}:1$	16:9	2:1	9:4	8:3	3:1	4:1
Li - comprimento da cela Wi - largura da cela										$\approx 5:2$		$\approx 7:2$	
<b>Capela-mor</b>	Sim		Não							Sem transepto		com transepto	
Abertura (Wc : Wi)	1:2		2:3		$1:\sqrt{3}^{SS}$				1:1				
Wc - abertura da capela-mor Wi - largura da cela													
Geometria	Retangular		Circular										
Proporção (Lc : Wc)	1:1		1:2										
Lc - profundidade da capela Wc - abertura da capela-mor		Sem retro-coro											
<b>Capelas laterais</b>	Sim		Não										
Número Ncl	2		6		10								
Abertura (Wc : Wcl)	1:1		1:11/12		$1:4^{TM}$				5:2				
Wcl - abertura das capelas laterais Wc - abertura da capela-mor													
Geometria	Retangular		Circular		Rec/Cir		Cir/Rec						
Proporção (Lcl : Wcl)	1:2		$1:1^{SA}$		$\sqrt{4}:\sqrt{3}$								
Lcl - largura da cela Wcl - abertura da capela													
Ossatura (Wcl : Ws)	[1:1/5 , 1: 1/3]	$1 : 1/2$	$\sqrt{4} : \sqrt{3}^{SA}$	$\sqrt{3} : \sqrt{2}^{SA}$	$\sqrt{2} : \sqrt{2}^{SA}$	$\sqrt{3} : \sqrt{1}^{SA}$	$2\sqrt{2} : \sqrt{1} \rightarrow Wi = Li^{SS}$						
Ws - largura da ossatura Wcl - abertura da capela													
<b>Transepto</b>	Sim		Não										
Falso/Verdadeiro	Falso												
Abertura (Wct : Wc)	1:1												
Wct - abertura dos braços													
Geometria	Retangular												
Proporção (Lct : Wct)	1:2												
Lct - profundidade dos braços													
<b>Espessura Paredes</b>													
Nave (We:Tw)	1:12		1:9		$1:20^{TM}$							$H_w : T_w = H_{col} : D_{col} = 19:2$	
We - largura do templo Tw - espessura da parede					We mais capelas							$H_w$ - altura das paredes $D_{col}$ - diâmetro da coluna $H_{col}$ - altura da coluna	
Capelas (Tw:Twc)	$2:1^{SS SA}$		1:1		$\sqrt{1}:\sqrt{3}$								
Tw - da nave Twc - das capelas													
Antecâmaras (Twc:Twch)	$3:4^{SA}$		$Twch = (Ws - wch)/2^{SA}$		$\approx 1:1$								
Tw - das capelas Twc - das antecâmaras													

x : y variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria* nem dos edifícios de Alberti  
x : y variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria* ou dos edifícios de Alberti  
x : y variáveis que verificam de descrições dos edifícios de Alberti não descritas no *De re aedificatoria*

x : y variáveis que não verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas  
<sup>TM</sup> condições inferidas do T. Malatestiano; <sup>SS</sup> condições inferidas de San Sebastiano; <sup>SA</sup> condições inferidas de Sant'Andrea.

nota: o texto a **vermelho** indica a partes das igrejas que Alberti não contempla, mas que evidenciam uma evolução da linguagem, tal como é o caso dos transeptos.

Tabela 43. Sumário de características proporcionais do pórtico da igreja de São Vicente de Fora, lidas a partir das descrições dos templos de planta retangular inferidas do *De re aedificatoria* e obra edificada de Alberti.

**Pórtico (pano central)**

<b>Largura</b> ( $W_{port}$ )	$W_{port} \geq W_e$							
$W_{port}$ - largura do pórtico $W_e$ - largura da nave	$W_{port} = W_e + 2 i D_{col}$							
<b>Profundidade</b> ( $L_{port}$ )	$M_{col} \in N \rightarrow L_{port} \leq 1/3 L_e$							
$L_{port}$ - profundidade do pórtico $L_e$ - profundidade da nave $M_{col}$ - número de colonatas	$M_{col} = 1$							
<b>Número colunas</b> ( $N_{col}$ )	4	10					As torres laterais adicionam mais seis pilastras, 3 em cada uma das torres, duplicando as pilastras na extremidade do pórtico central.	
$N_{col}$ - número de colunas								
<b>Intercolúneo</b> ( $i : D_{col}$ )	1:3/2	1:2	1:9/4	1:3	1:27/8	1:7/2		
$i$ - intercolúneo $D_{col}$ - diâmetro da coluna	Compacto	Sub-compacto	Elegante	Sub-ampliado	Ampliado		$\approx 1:27/8$	
<b>Intercolúneo central</b> ( $i : i_c$ )	1:5/4	1:1 <sup>SS</sup>		3:1 <sup>SA</sup>				
$i_c$ - intercolúneo central								
<b>Intercolúneo profundidade</b> ( $i : i'$ )	1:1	6:5 <sup>SA</sup>		2:1 <sup>SS</sup>				
$i'$ - intercolúneo entre colonatas								

**Pórtico das torres**

<b>Largura</b> ( $W_{port}$ )	$W_{port} \geq W_e$						
$W_{port}$ - largura do pórtico $W_e$ - largura da nave							
<b>Profundidade</b> ( $L_{port}$ )	$M_{col} \in N \rightarrow L_{port} \leq 1/3 L_e$						
$L_{port}$ - profundidade do pórtico $L_e$ - profundidade da nave $M_{col}$ - número de colonatas	Pórtico adossado $M_{col} = 0$						
<b>Número colunas</b> ( $N_{col}$ )	4						
$N_{col}$ - número de colunas							
<b>Intercolúneo</b> ( $i : D_{col}$ )	1:3/2	1:2	1:9/4	1:3	1:27/8	1:7 <sup>TM</sup>	
$i$ - intercolúneo $D_{col}$ - diâmetro da coluna	Compacto	Sub-compacto	Elegante	Sub-ampliado	Ampliado		
<b>Intercolúneo central</b> ( $i : i_c$ )	1:5/4	1:1 <sup>SS</sup>	3:1 <sup>SA</sup>	não se aplica			
$i_c$ - intercolúneo central							
<b>Intercolúneo profundidade</b> ( $i : i'$ )	1:1	6:5 <sup>SA</sup>	2:1 <sup>SS</sup>	não se aplica			
$i'$ - intercolúneo entre colonatas							

- x : y variáveis que não verificam as descrições do *De re aedificatoria* nem dos edifícios de Alberti
  - x : y variáveis que verificam as descrições do *De re aedificatoria* ou dos edifícios de Alberti
  - x : y variáveis que verificam de descrições dos edifícios de Alberti não descritas no *De re aedificatoria*
  - x : y variáveis que não verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas
  - x : y variáveis que verificam descrições do *De re aedificatoria* dentro de condições específicas.
- <sup>TM</sup> condições inferidas do T. Malatestiano; <sup>SS</sup> condições inferidas de San Sebastiano; <sup>SA</sup> condições inferidas de Sant'Andrea.

5.5.2. A igreja de São vicente de Fora como referência para a derivação de uma solução de projeto segundo os cânones albertianos

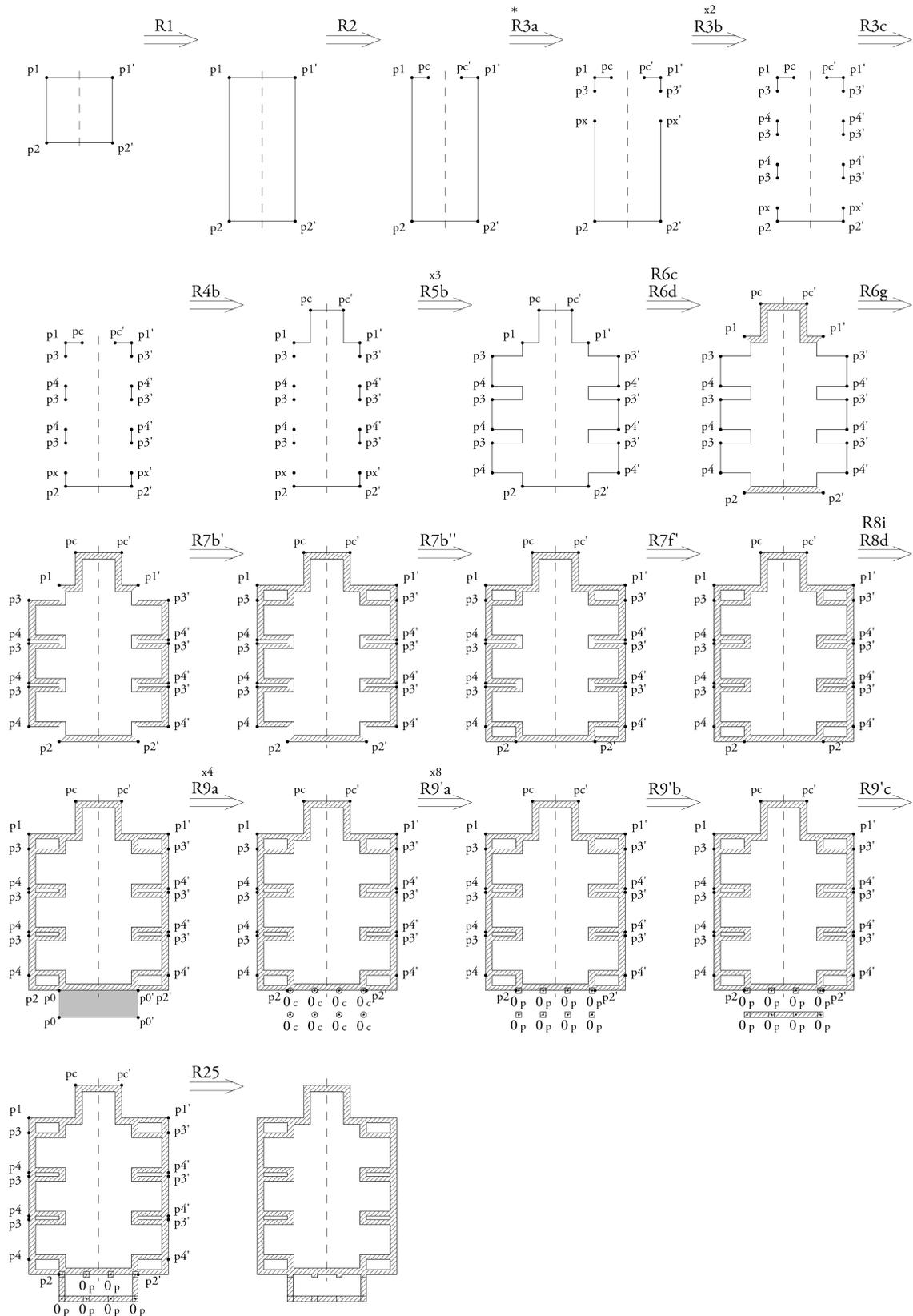


Figura 178. Derivação da solução de projeto da GF<sub>AE</sub> — pela aplicação passo a passo de regras de forma — com maior afinidade com a atual planta da igreja de São vicente de Fora, Lisboa.

Em concordância com o processo realizado para as três igrejas portuguesas já apresentadas neste capítulo, para análise de similaridades entre a solução de projeto da GF<sub>AE</sub>, mais próxima da planta da igreja de São Vicente de Fora, procedeu-se à derivação de uma solução pela sucessiva aplicação das regras de forma da GF<sub>AE</sub>, cujos valores — números e proporções — atribuídos aos parâmetros das regras de forma confluem com os valores inferidos do *De re aedificatoria* e *corpus* de obra edificada de Alberti (ver coluna III e V, da Tabela 44).

Neste processo, repete-se a opção de derivação da cela tendo como referente a sua proporção sem transepto. Deduzido o *ratio* 5:2 (Li:Wi) da planta de S. Vicente de Fora, de entre as condições da *Regra 1. Delineamento da cela*, o *ratio* 9:4 é o mais próximo, pelo que é aplicado no processo de derivação.

No que diz respeito à derivação da abertura e delineamento das capelas laterais, a proporção implementada na derivação da cela permite acomodar três capelas nas laterais, correspondendo ao número de capelas existentes nesta igreja. Um facto, que não se verifica no processo de derivação de soluções da GF<sub>AE</sub> à luz das características das igrejas de São Roque e do Espírito Santo, onde se derivaram soluções com diferente números de capelas das existentes nos edifícios.

### 5.5.3. Vestígios de uma solução de projeto albertiano

Na Figura 179 ilustra-se a sobreposição da planta da igreja de São Vicente de Fora à solução derivada pela GF<sub>AE</sub> mostra um conjunto de relações de convergência e divergência entre ambas. Ambos os projetos são coincidentes nos seguintes aspectos: (1) se excluído o tramo do transepto e a cabeceira de São Vicente de Fora, a compartimentação, a morfologia e as proporções globais do restante corpo da solução derivada da gramática aproximam-se da planta da igreja portuguesa; (2) a proximidade da disposição modular e proporção das capelas laterais, e as respetivas ossaturas interpostas; (3) a conformação de um espaço anterior à entrada da cela, relativo ao vestíbulo de São Vicente de Fora e a um pórtico solto na solução da gramática; (4) por último, a disposição planimétrica das pilastras no pano central do pórtico converge com o número e colocação das pilastras no vestíbulo e pórtico de São Vicente de Fora.

Entre as características divergentes da solução gerada pela GF<sub>AE</sub> e a planta de São Vicente de Fora observam-se: (1) a profundidade mais curta da cela; (2) não houve lugar à geração do transepto inscrito; (3) a dependência da capela-mor da posição da cela coloca-a numa posição avançada relativamente à cabeceira; (4) a dimensão da capela-mor não alcança a largura da capela de S. Vicente; (5) a GF<sub>AE</sub> não tem capacidade de gerar um retrocoro, nem o baldaquino que o separa da capela-mor; (6) as capelas laterais não têm ligações intercomunicantes; (5) de modo similar às soluções geradas para as restantes igrejas portuguesas analisadas, o perímetro exterior da capela-mor está saliente do corpo do edifício, uma vez que não são gerados espaços secundários, adjacentes à capela-mor, de modo a integrar a cabeceira e o corpo da igreja num traçado regular; (7) a espessura das paredes exteriores das capelas laterais é superior às respetivas paredes de São vicente de Fora; (8) o pórtico é mais estreito do que na igreja de Lisboa, nomeadamente, por não se desenvolver nos panos laterais da frontaria, adossados aos corpos das torres; (9) deve-se assinalar que a GF<sub>AE</sub> também não prevê pórticos com pilastras emparelhadas.

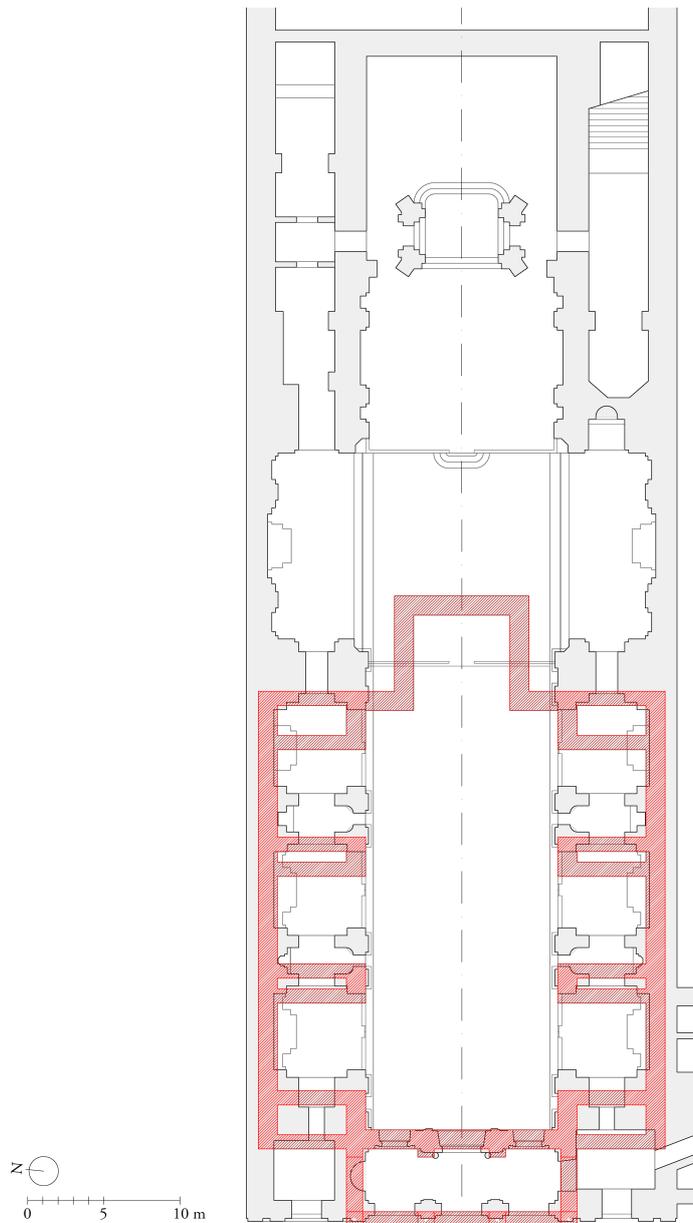


Figura 179. Sobreposição da planta da igreja de São Vicente de Fora, Lisboa, com planta gerada pela GF<sub>AE</sub> (a vermelho).

#### 5.5.4. Avaliação do grau de correlação da gramática

Tendo em vista a avaliação do grau de correlação do cânone albertiano e a planta de S. Vicente de Fora por meio de MRLS, associam-se os valores relativos ao conjunto de parâmetros implementados na GF<sub>AE</sub> às proporções e dimensões inferidas do traçado da igreja portuguesa (ver Tabela 44).

Centrando esta avaliação na correlação das proporções atribuídas a cada um dos parâmetros em análise, na coluna V (Tabela 44) registam-se as variáveis dependentes (Y), isto é, as proporções deduzidas da análise da planta de S. Vicente de Fora. E, na coluna III (Tabela 44), as variáveis independentes (X), constando de proporções inscritas nas condições das regras de forma da GF<sub>AE</sub> com maior correspondência, ou iguais, às variáveis dependentes.

Tabela 44. Lista de valores inferidos do tratado e corpus de obra edificada de Alberti (III), correspondentes, ou os mais aproximados, aos existentes na igreja de São Vicente de Fora (V) para um determinado parâmetro dimensional (I) e respetivas condições de aplicação (II). Cálculo de dimensões absolutas (em metros e *braccias*) de parâmetros mensuráveis para a geração da planta de um edifício sagrado (IV), idêntica, ou o mais análoga possível à planta de Sant'Andrea. As colunas à esquerda (VI) apresentam as dimensões da igreja de São Vicente de Fora para os diversos parâmetros tomados como referência para a derivação de uma solução dentro da linguagem da GF<sub>A</sub>.

I. parâmetros	II. condições	Linguagem albertiana			São Vicente de Fora		
		III. variável/valor*	IV. metros <i>braccias</i>		V. variável/valor*	VI. metros <i>braccias</i>	
<b>wi</b>			12,63	26,98		12,63	26,98
<b>li</b> <sup>1</sup>	li = α wi	α = 9/4	28,41	60,7	<b>α ≈ 5/2</b>	32,52	69,46
<b>li</b>	com transepto	α = 4	50,52	107,9	<b>α ≈ 7/2</b>	44,83	95,76
<b>wc</b>	wc = β wi	β = 2/3	8,42	17,98	<b>β = 1</b>	12,63	26,98
<b>lc</b>	lc = Θ wc	Θ = 1	8,42	17,98	Θ = 1	12,31	26,29
<b>wcl</b>	wcl = φ wc	φ = 11/12	7,72	16,49	<b>φ = 2/5</b>	5,05	10,79
<b>lcl</b>	lcl = γ wcl	γ = 1 <sup>SA</sup>	7,72	16,49	<b>γ = √4/√3</b>	6,07	12,97
<b>ws</b>	ws = φ' wcl	φ' = √3/√4 <sup>SA</sup>	6,69	14,28	φ' = √3/√4	4,35	9,29
<b>tw</b>	tw = σ we	σ = 1/12	1,26	2,68	σ = 1/12	1,2	2,56
<b>twc</b>	twc = σ' tw	σ' = 1	1,26	2,68	<b>σ' = √3/√1</b>	1,81	3,87
<b>twch</b>	twch = σ'' twc	σ'' = 3/4 <sup>SA</sup>	0,95	2,03	<b>σ'' ≈ 1</b>	1,3	2,77
<b>we</b>	we = (1 + 2σ) / wi		15,16	32,38		15,03	32,10
<b>le</b> <sup>1</sup>	le = li + 2tw		30,93	66,07		34,92	74,59
<b>i</b>	dcol = wport / (ncol (1 + δ) - 3/4 δ) δ ∈ {3/2, 2, 9/4, 3, 27/8}	δ = 27/8	3,24	6,92	<b>δ = 7/2</b>	3,44	7,35
<b>ic</b>	ic = δ' i	δ' = 1 <sup>SS</sup>	3,24	6,92	δ' = 1	3,44	7,35
<b>i'</b>	i' = δ'' i	δ'' = 1	3,24	6,92	δ'' = 1	3,57	7,62

\* valor inferido do *De re aedificatoria* e *corpus* de edifícios de Alberti com maior correspondência com o valor inferido no edifício.

valores a vermelho não têm correspondência com a linguagem albertiana, valores a azul valores inferidos das obra edificada de Alberti.

nota: a unidade de medida *braccias* é referente às *braccias mantuana.*, cuja unidade corresponde a aproximadamente 0,468 metros.

<sup>1</sup> Para o cálculo da convergência de São vicente de Fora com a cânone albertiano considera-se o comprimento da cela sem área relativa ao transepto, uma vez que corresponde ao ritmo de aberturas e ossaturas mais próximo do implementado por Alberti.

A avaliação consta da produção do Gráfico 7, onde se mostra a dispersão das variáveis dependentes relativamente à reta de regressão. Da sua leitura, por não se verificar uma grande dispersão, é indicada uma forte relação entre os dois conjuntos de variáveis. Porém, em dois dos parâmetros em análise, a abertura das capelas laterais (Wcl) e a espessura das paredes externas das capelas (Twc) são os que apresentam variáveis com menos convergentes.

Paradoxalmente, o erro de previsão do parâmetro relativo à abertura das capelas laterais (Wcl) não resulta numa divergência significativa entre o delineamento das capelas laterais da solução derivada pela GF<sub>AE</sub> e a modulação destas capelas na planta de S. Vicente de Fora, conforme ilustrado na Figura 179. A avaliação do grau de correlação das proporções dos dois modelos, toma como referente as condições descritas na teoria albertiana. Segundo estas condições, o delineamento e proporções das capelas laterais definem-se por relações de associatividade a outros parâmetros (abertura da capela-mor, largura e comprimento da cela). Não obstante, o facto dos cânones albertianos não explicitarem a proporção das aberturas das capelas laterais de São Vicente de Fora, a solução da

GF<sub>AE</sub> demonstra a sua capacidade de gerar um projeto com um delineamento de capelas laterais interpostas por ossaturas convergente com a igreja portuguesa.

Esta facto, sugere que o sistema de dependências e associações proporcionais, que Alberti estabelece entre as diferentes partes dos edificios sagrados é interpretado de modo fragmentado no modelo português.

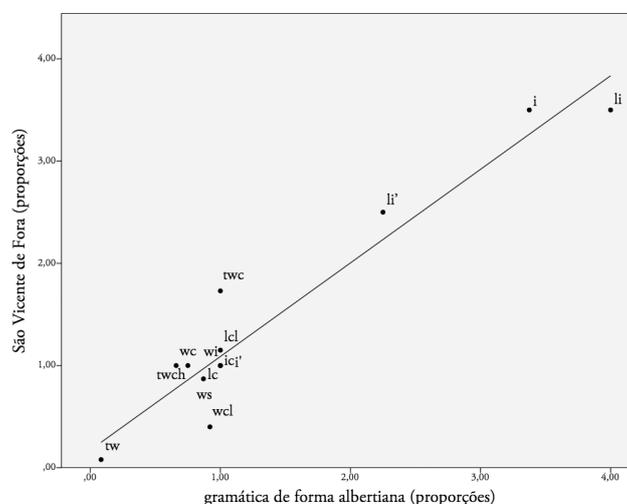


Gráfico 7. Gráfico de dispersão com reta de regressão linear que analisa a presença de parâmetros numéricos e proporcionais da GF<sub>AE</sub> na igreja de São Vicente de Fora, Lisboa.

Curiosamente, os coeficientes de regressão e determinação desta avaliação são iguais aos obtidos na avaliação do grau de correlação da GF<sub>AE</sub> com a planta da igreja do Espírito Santo. Tratam-se de coeficientes de regressão de 95,8% ( $R = 0,958$ ), retratando uma forte correlação entre as variáveis e, coeficientes de determinação de 91,7% ( $R^2 = 0,917$ ), sugerindo que as variáveis independentes (X) têm significância estatística para explicitar as variáveis dependentes (Y).

A despeito da coincidência dos coeficientes de regressão e determinação da igreja eborense e vicentina, a avaliação da primeira tem um erro de previsão ( $\epsilon = 0,25295$ ) ligeiramente menor do que a avaliação da segunda ( $\epsilon = 0,31262$ ). Quer dizer, na avaliação da igreja de Évora, os desvios médios das variáveis dependentes são menores, pelo que é mais correto concluir a existência de uma mais forte correlação e explicitação das proporções descrita na GF<sub>AE</sub> nesta igreja.

Independentemente das divergências entre a solução gerada pela GF<sub>AE</sub> e a planta de São Vicente de Fora, a avaliação por MRLS sugere que as proporções e números albertianos têm um forte grau de correlação e explicitação das proporções e números inferidos da planta da igreja portuguesa.

## 5.7. Sumário

Dado o propósito de aferir a presença da linguagem de projeto albertiana, conforme enunciada na GF<sub>AE</sub> (ver subcapítulo 4.4.4. *Uma gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti*), relativa a edifícios sagrados de planta retangular, no traçado das plantas de um *corpus* de igrejas portuguesas do período da Contrarreforma, efetuou-se a derivação de um conjunto de soluções de projeto, pela aplicação das regras de forma da GF<sub>AE</sub>, em que se tomou como referência as proporções e números presentes na composição espacial destas igrejas. Esta tarefa permitiu verificar que as soluções geradas dentro do universo da GF<sub>AE</sub> não incorporam algumas das relações espaciais e proporcionais das igrejas portuguesas.

Para este resultado contribui maioritariamente a inexistência de regras que: (1) gerem braços transversos e, respectivo transepto; (2) abram passagens entre as capelas laterais; (3) encerrem o perímetro externo da planta num traçado regular, pela adição de compartimentos secundários nos flancos da capela-mor; (4) adicionem compartimentos para a incorporação de torres sineiras, junto do pórtico da frontaria. Em algumas das soluções da GF<sub>AE</sub> verificam-se ainda desajustes ao nível das proporções, e conseqüente disposição, da (1) cela, (2) capela-mor, (3) capela-mor e (4) pórtico.

Não obstante, um conjunto de relações espaciais e proporções que caracterizam o *corpus* de igrejas portuguesas está presente nas soluções da GF<sub>AE</sub>. Designadamente, a generalidade da composição interna (cela, capela-mor e capelas laterais), sobretudo se o transepto é excluído, ou não é existente, destacando-se as similitudes no esquema de modulação das capelas nas laterais dos dois paradigmas. Esta proximidade compositiva dá-se tanto nas igrejas de S. Roque e do Espírito Santo, como nos modelos mais tardios de S. Vicente de Fora e S. Lourenço, onde se evidencia um aumento da robustez das ossaturas, revelando uma aproximação ao esquema de Sant'Andrea.

Estes resultados sugerem que a capacidade analítica da GF<sub>AE</sub>, relativamente a este *corpus* de igrejas portuguesas, é limitada. Porém, indicam igualmente que uma parte relevante do esquema compositivo dos edifícios portugueses está contido, ou melhor, é descrito na linguagem edificatória albertiana.

Das possíveis interpretações que a avaliação por MRLS permite, regista-se que as proporções e números propostos, e utilizados, por Alberti para os edifícios sagrados de planta retangular (concatenados nas condições das regras da GF<sub>AE</sub> - capítulo 5), têm um forte grau de correlação (R) com os números e proporções inferidas das plantas do *corpus* edifícios estudados neste capítulo, bem como, capacidade explicativa (R<sup>2</sup>).

Tabela 45. Resultados obtidos no estudo (por MRLS) do grau de correlação dos números e proporções presentes na GF<sub>AE</sub> com os números e proporções inferidos das plantas de igrejas representativas da arquitetura portuguesa no período da Contrarreforma.

	São Roque	Espírito Santo	São Lourenço	S. Vicente de Fora
Coefficiente de regressão (R)	96,2%	95,8%	87,3%	95,8%
Coefficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	92,5%	91,7%	76,2%	91,7%
Erro de previsão (ε)	0,18772	0,25295	0,65478	0,31262

Das quatro igrejas portuguesas retratadas, a GF<sub>AE</sub> tem maior correlação e capacidade explicativa das suas proporções e números é a igreja de São Roque, por oposição, a igreja de São Lourenço é a que apresenta um maior desvio. É interessante observar o cruzamento destes resultados com a cronologia dos projetos.

A igreja de S. Roque (c. 1554), cuja data do projeto supõe-se ser a mais antiga deste *corpus*, apresenta os coeficientes de regressão e determinação mais elevados e erro de previsão mais reduzido. Inversamente, a igreja de S. Lourenço (c. 1614), cuja data do projeto será a mais recente, tem um menor grau de correlação e explicitação. Esta análise, dentro de todas as limitações em que se enquadra, sugere um maior desvio da aplicação de proporções e números presentes no cânone albertiano com o avançar do tempo.

Paradoxalmente, a solução de projeto da GF<sub>AE</sub> desenvolvida de acordo com as características da planta de S. Lourenço tem uma grande convergência ao nível da modulação das capelas nas laterais, bem como na disposição e dimensões das capelas. Eventualmente, a mais próxima, entre as quatro igrejas consideradas no estudo.

Por outro lado, a solução de projeto da GF<sub>AE</sub> que segue os números e proporções da igreja de S. Roque é a que aparenta ter mais divergências relativamente ao modelo português. Este facto deve-se essencialmente à impossibilidade da abertura de cinco capelas nas laterais de uma cela com a proporção 9:4 (Li:Wi) quando a abertura da capela-mor corresponde ao *ratio* de 1:2 da largura da cela (Wc:Wi). Por este motivo, no processo de derivação adotou-se a abertura de apenas três capelas laterais, conforme previsto na GF<sub>AE</sub>.

Esta contradição mostra que na planta de S. Lourenço, apesar da proporção da abertura das capelas laterais não estabelecer uma relação com a abertura da capela-mor dentro dos cânones albertianos ( $Wcl = 2/3Wc$ ), por existir convergência nas proporções da cela ( $Li = 9/4 Wi$ ) e ossaturas laterais ( $Ws = \sqrt{2}:\sqrt{3}Wcl$ ) a solução gerada pela GF<sub>AE</sub> apresenta uma modulação das laterais razoavelmente similar à presente no espaço da igreja portuguesa. Posto isto, pode-se sugerir que o sistema de dependência dos diversos parâmetros para o delineamento dos edifícios sagrados presente no cânone albertiano, em S. Lourenço, é integrado de modo parcial.

A análise efectuada ao traçado deste *corpus* de igrejas portuguesas sugere uma leitura da integração de princípios arquitetónicos patentes na obra escrita e edificada de Alberti. Não obstante, clarificou relações espaciais e proporções que o paradigma albertiano não considera, indicando um processo de transformação e evolução dessa linguagem no contexto português. Com efeito, dada a informação reunida, em trabalhos futuros é possível definir uma gramática analítica representativa da linguagem de projeto deste *corpus* de igrejas portuguesas pela transformação da GF<sub>AE</sub>. Essencialmente, este processo dar-se-ia pela adição, subtração e adaptação de regras de forma da GF<sub>AE</sub>, tendo em consideração três questões centrais:

(1) a ampliação dos sistemas de proporções aplicados, que dada a dificuldade de inferir padrões de *rationes* empregues nos edifícios portugueses, parecem não obedecer a uma norma explícita,

pelo que, eventualmente são interpretadas, ou adaptadas, de modo autónomo pelos arquitetos e intervenientes na edificação;

(2) pela consideração de novas relações espaciais, designadamente pela adição de falso transepto, a adição de ligações entre as capelas laterais, a adição de torres às extremidades do pórtico da frontaria, ou no tardo, como é o caso das igrejas do Espírito Santo e S. Roque, e ainda, em determinadas situações com a adição de cúpula sobre o cruzeiro;

(3) pela adequação ao programa funcional imposto pela Contrarreforma, designadamente, no *modo nostro* da empresa Jesuíta, que fomenta uma maior amplitude espacial e circulações secundárias.

Antes de encerrar este sumário e, a propósito da adição de regras para o delineamento de transeptos, importa referir que no âmbito das descrições da basílica do *De re aedificatoria*, Alberti refere que alguns (Antigos) acrescentaram uma nave transversal (“causídica”) ao longo da tribuna, onde se “movimentam as multidões dos oradores e os advogados” conformando, em conjunto com a nave central, um “traçado semelhante à letra T” (Alberti, VII, 14, 1). Krüger (2011, n.1378; 2015, p.469) sugere que a possibilidade de composição da basílica com falso transepto “significa que Alberti não assume integralmente o simbolismo religioso da iconografia cristã” da planta em cruz latina, mas das basílicas pagãs que “tem algo da natureza do templo” (Alberti, VII, 14, 2).

No contexto da linguagem albertiana, é preciso notar dois aspectos contrários relativamente à introdução de regras para o delineamento de transepto nos templos por influência das descrições das basílicas.

No *De re aedificatoria*, as descrições da basílica consideram dois “vastos pórticos” que separam a nave central das laterais, ao contrário dos templos, em que existe uma nave única com capelas laterais. Consequentemente, a implementação de uma nave transversa nos templos ocorreria pela introdução do mesmo sistema de ossaturas que intercalam as capelas laterais, conformando um contorno interior dos braços transversos mais bem definido do que os braços da causídica das basílicas.

Conforme exposto anteriormente, o pensamento arquitetónico albertiano recorre a mecanismos de concatenação de relações espaciais de diferentes origens tipológicas, como sucede, com a adequação da composição do arco de triunfo à fachada de Sant’Andrea. Este mecanismo pode ser aplicado à inclusão de uma relação espacial descrita para as basílicas em projetos de edifícios sagrados, uma vez que existem princípios semânticos e funcionais que o justificam, tal como em Sant’Andrea.

## **6. Conclusão**



A conclusão apresenta uma síntese dos resultados nucleares da tese, suas principais contribuições e trabalhos futuros tendo em vista a melhoria e ampliação da investigação.

## 6.1. Considerações finais

A hipótese central desta tese propõe uma leitura computacional do *De re aedificatoria* (1485) desenvolvida nos formalismos das gramáticas de forma para a geração e análise de edifícios sagrados albertianos e correspondente aplicação no auxílio ao escrutínio da existência de uma arquitetura da Renascença em Portugal.

No quadro teórico de Alberti, formas antecedentes e consequentes estão profundamente interligadas, podendo ser exploradas e desenvolvidas pela tradução das regras estabelecidas no seu tratado, se entendidas como uma forma de computação. Do mesmo modo, projetos representativos da arquitetura portuguesa dos séculos XVI e XVII, foram objecto de análise a partir de regras arquitetónicas estabelecidas por Alberti, auxiliando à identificação de aspectos em que são concordantes e outros que retratam a evolução dos modelos arquitetónicos portugueses.

Com esta tese demonstra-se que o pensamento albertiano transcrito no *De re aedificatoria*, no contexto dos edifícios sagrados de planta retangular, é de natureza descritiva, uma vez que é deduzido da examinação de vestígios construídos na Antiguidade Clássica — um *corpus* construído — e da leitura de textos clássicos, nomeadamente o *De architectura* de Vitruvius — um *corpus* escrito. Poder-se-á acrescentar que detém valor sintético, porque não formaliza soluções de projeto, apenas regras edificatórias com capacidade generativa de soluções de projeto não pertencentes ao *corpus* descritivo do tratado. Pelo recurso à análise inversa do T. Malatestiano e das igrejas de San Sebastiano e Sant'Andrea verificou-se que a linguagem de projeto descrita no *De re aedificatoria* é razoavelmente explicativa da composição espacial e proporções das plantas destes projetos, demonstrando-se a sua capacidade analítica relativamente à sua obra edificada de Alberti.

Não obstante, pela análise destes projetos de Alberti, identificam-se dois aspectos que não constam da gramática de forma dos edifícios sagrados de planta retangular, descodificada do *De re aedificatoria* e, se implementados, a gramática seria mais abrangente dos princípios arquitetónicos de Alberti.

(1) A aplicação dos sistemas de proporções definidos no Livro IX, para além do delineamento da cela, ampliando a sua abrangência ao delineamento de outras relações espaciais. A universalidade destas proporções pôde ser implementada algoritmicamente, através da sua inclusão nas condições de regras de forma paramétricas relativas à derivação de outros componentes espaciais (por exemplo, no cálculo de parâmetros relativos à abertura e profundidade das capelas).

(2) No *De re aedificatoria* Alberti incorpora um processo de analítico e *exempla*<sup>288</sup> de princípios da arquitetura da Antiguidade Clássica, que posteriormente transpõe para a prática. Este processo de transformação da análise em regras edificatórias é visível no modo como intervém no modelo tardogótico da igreja de São Francisco em Rimini, ao propor um invólucro que na frontaria adota como

---

<sup>288</sup> Segundo Krüger (2011, p.37), conforme explicitado por Kanerva (1998), Alberti recorre a *exempla*, isto é, a figuras exemplares a serem imitadas como modelos.

protótipo o do Arco de Augusto, nas fachadas laterais um sistema de arcadas de matriz Clássica e no lugar da capela-mor teria como modelo a capela da basílica de *Santíssima Annunziata*. Ou ainda, na composição da igreja de Sant'Andrea, uma interpretação contemporânea do templo Etrusco a partir da basílica de Maxêncio e a adaptação do modelo do arco de triunfo à frontaria. Como indica Grassi (2015, p. 58), perante um enunciado de projeto e seus precedentes “Alberti parece querer mostrar , não só uma consideração e respeito, para ele, mais do que naturais, como também a evidente necessidade e até a vontade de dar respostas, todas elas em direcções diversas, como que para construir uma casuística, uma espécie de catálogo «*de modos possíveis*», um catálogo independente, separado, mas totalmente complementar ao seu tratado.”

Em suma, o olhar eclético e apropriacionista de Alberti traduz-se na ampliação dos modelos de referência, ocasionando novas relações espaciais e uma evolução da sua linguagem de projeto. Através de trabalhos de transformação de gramáticas de forma apresentados nesta tese foi possível implementar as novas relações espaciais e proporções que Alberti estabelece nos edifícios de Rimini e Mântua na gramática do tratado. Não obstante, a possibilidade de inclusão das relações espaciais de um “catálogo «*de modos possíveis*” (Grassi, 2015, p. 58) será sempre mais restrito e especulativo relativamente a decisões de projeto que são iminentemente específicas. É dessa especificidade de decisões que se amplia e adapta o léxico e a sintaxe arquitetónicas, cuja leitura pode ser auxiliada pela operatividade do formalismo das gramáticas de forma analíticas.

Como síntese de possíveis reflexos do legado albertiano na arquitetura portuguesa do período da Contrarreforma, a análise inversa de um *corpus* de igrejas representativas dessa época sugere a presença de princípios arquitetónicos patentes na obra escrita e edificada de Alberti nestes projetos. Para este resultado contribuiu essencialmente o facto da gramática albertiana gerar soluções em que espaço interno é composto por nave retangular longitudinal única, com capela-mor retangular e a abertura de capelas nas laterais, ou seja, três elementos presentes nas igrejas portuguesas do *corpus* estudo de caso.

Das quatro igrejas portuguesas que compõem esse *corpus*, a solução gerada para a igreja de S. Roque é a que apresenta menos convergências ao nível da composição interna. Esta discrepância justifica-se pela impossibilidade da gramática albertiana derivar a abertura de cinco capelas laterais — conforme existe em S. Roque — , mas apenas três devido às condições que regulam a dimensão das ossaturas que separam as capelas laterais, que por sua vez são dependentes das proporções da cela e capela-mor. Paradoxalmente, os números e proporções presentes na planta desta igreja são os que têm maior grau de correlação e explicitação na gramática albertiana.

Nos antípodas destes resultados encontram-se os obtidos na avaliação analítica inversa da igreja de S. Lourenço. Neste caso, a solução gerada pela gramática albertiana apresenta uma grande correspondência ao nível da composição interna — excetuando o tramo do transepto — , designadamente na disposição e dimensão das capelas laterais, respetivas ossaturas e projeção planimétrica do pórtico da frontaria no tramo central. Mas, os números e proporções que estão implícitos às suas partes sã têm um menor grau de correlação e explicitação no cânone albertiano, não obstante, tratarem-se de resultados razoavelmente positivos.

Os resultados obtidos na avaliação analítica inversa das igrejas do Espírito Santo e S. Vicente de Fora são os mais equilibrados. Em ambas se verificam resultados convergentes ao nível do delineamento do espaço interno até ao tramo do transepto e uma forte grau de correlação e explicitação ao nível dos números e proporções.

Simultaneamente, foi possível enumerar um conjunto de relações espaciais presentes no *corpus* de igrejas portuguesas que não são descritas no universo de soluções de projeto albertiano. Destas, destacam-se: a adição de nave causídica junto do tardo; a abertura de ligações entre as capelas laterais; a adição de cúpula sobre o cruzeiro — nas igrejas mais tardias de S. Lourenço e S. vicente de Fora —; e a adição torres nos panos laterais do pórtico da frontaria — como sucede nestas duas igrejas, ou no tardo, nas igrejas do Espírito Santo e S. Roque.

Globalmente, as três primeiras relações espaciais inscrevem-se em tipologias decorrentes da aplicação das normas do *modo nostro* jesuíta e presentes na composição interna de *Il Gesù* de Vignola, mesmo que indiretamente, este facto sugere que é possível caracterizar a linguagem arquitetónica destas igrejas portuguesas pela transformação das regras da linguagem albertiana — plasmada na composição espacial da igreja de Sant'Andrea —, adequando-as aos requisitos reformistas da igreja Romana nos séculos XVI e XVII<sup>289</sup>.

Em síntese, os trabalhos desenvolvidos indicam que a gramática albertiana tem capacidade de gerar e explicitar uma parte da morfologia e proporções das plantas de um *corpus* de igrejas portuguesas deste período. Mais, sugere-se possível definir uma gramática representativa da linguagem arquitetónica deste *corpus* pela transformação da gramática de forma inferida do *De re aedificatoria* e da obra construída de Alberti.

Com efeito, retomando a discussão sobre a possibilidade de se afirmar a existência de uma arquitetura portuguesa da Renascença no período da Contrarreforma, a contribuição essencial desta tese foi mostrar que pelo recurso a modelos computacionais para a definição de sistemas formais generativos em arquitetura, a historiografia de arquitetura está melhor instrumentalizada na procura de respostas a questões que dividiram, num passado recente, os historiadores de arquitetura em Portugal. Em simultâneo, expuseram-se transformações formais que caracterizam uma evolução do esquema compositivo das igrejas portuguesas desse período, num processo de aproximação a um Classicismo e respetivamente aberto à integração de registos locais.

---

<sup>289</sup> Dos desvios assinalados, excepcionalmente, a adição de torres surge com um influxo específico do contexto português (Gomes e Lobo, 2012, 505).

## 6.2. Contribuições

No capítulo introdutório anunciaram-se quatro contribuições que se destacam na tese, neste epílogo, esses contributos voltam a ser referidos, e enunciam-se outros igualmente relevantes.

(1) Desenvolvimento de uma metodologia para o estudo de desvios tipológicos centrada no uso de gramáticas de forma e modelos de avaliação analítica inversa. Nesta tese apresentam-se dois ciclos de geração e análise de *corpus* de projeto que se divide em cinco etapas: (1) definição de um *corpus* representativo de uma linguagem arquitetónica; (2) desenvolvimento de esquemas paramétricos que sintetizam as relações espaciais e proporções comuns aos *corpus*, e os seus desvios; (3) a definição de uma gramática de forma representativa desse *corpus* de projeto; (4) cálculo da capacidade generativa da gramática; (5) avaliação analítica inversa da gramática relativamente a um segundo *corpus* de projetos, aferindo a convergência morfológica e grau de correlação e explicitação de números e proporções que a gramática tem relativamente a esse *corpus*.

(2) Uma tradução computacional das descrições dos edifícios sagrados de planta retangular prescritas no *De re aedificatoria* pelo recurso ao formalismo das gramáticas de forma paramétricas. Através da sistematização dos princípios edificatórios relativos a edifícios sagrados de planta retangular enunciados no *De re aedificatoria* foi possível caracterizar e codificar computacionalmente a multiplicidade de variações tipológicas que definem a linguagem dos edifícios sagrados, decorrente das possibilidades combinatórias, da diversidade de números, proporções e condições que estão na origem do delineamento de cada uma das partes destes edifícios. Destaca-se a articulação do seu espaço interno, composto pela cela, a capela-mor e capelas laterais, e ainda, o traçado das paredes, onde se incluem os pórticos e, finalmente, a cobertura e aberturas.

(3) Implementação da gramática de forma dos edifícios sagrados de planta retangular inferido do *De re aedificatoria* num modelo computacional de funcionamento paramétrico. A tradução das regras de forma por meios de linguagem de programação visual em *Grasshopper*, resultou num *pseudo*-interpretador com a mesma capacidade generativa da gramática, permitindo a manipulação interativa de variações de morfológicas e proporcionais da solução em geração sem que haja um conhecimento prévio dos princípios arquitetónicos de Alberti. Nesse sentido resulta numa ferramenta que para além de automatizar o processo generativo auxilia à compreensão do cânone arquitetónico albertiano.

(4) Demonstração da natureza computacional e algorítmica do *De re aedificatoria* se traduz em capacidade generativa. A natureza combinatória e paramétrica das prescrições do tratado para o delineamento de edifícios sagrados resultou na definição de uma gramática de forma que sistematizou eficazmente esse princípios. O elevado universo de soluções de projeto da gramática resulta do aumento exponencial de variações morfológicas e proporcionais que os diferentes estágios de geração vão integrando no processo de derivação de soluções.

(5) Uma gramática de forma para a geração de edifícios sagrados de planta retangular de acordo com a teoria e projetos albertianos. Através da análise inversa de projetos de Alberti —T. Malatestiano, igreja de San Sebastiano e igreja de Sant'Andrea — de acordo com os parâmetros

inferidos da leitura computacional prévia do *De re aedificatoria*, definiram-se um conjunto de desvios entre a obra edificada e o postulado teórico albertiano. Estes desvios permitiram transformar a gramática inicial pela adição e adaptação de regras, originando uma nova gramática que caracteriza a evolução da linguagem de projeto albertiana no âmbito dos edifícios sagrados de planta retangular.

(6) A igreja de San Sebastiano e a igreja de Sant'Andrea são mais devedoras das descrições dos edifícios sagrados do que o Templo Malatestiano. Esta afirmação resulta da demonstração de que a intervenção de Alberti no T. Malatestiano resulta de um processo de conceção de projeto que integra modelos arquitetónicos externos às descrições específicas dos edifícios sagrados.

(7) Uma leitura da composição espacial de um corpus de igrejas portuguesas do período da Contrarreforma a partir de princípios edificatórios albertianos. Conduziu-se uma análise inversa da morfologia e proporções das igrejas de S. Roque, Espírito Santo, S. Lourenço e S. Vicente de Fora, à luz das regras inferidas da obra teórica e construída de Alberti, resultando na identificação de aspectos em que são convergentes e divergentes entre os modelos portugueses e albertianos. Complementou-se essa análise pela avaliação do grau de correlação entre os números e proporções explicitados no cânone albertiano e os presentes nas igrejas portuguesas, determinando a capacidade explicativa do primeiro relativamente ao segundo.

### 6.3. Trabalhos futuros

Ao longo dos trabalhos da tese detetaram-se diversas tarefas que poderiam melhorar os resultados da investigação e ampliar a sua abrangência. De seguida relatam-se algumas dessas tarefas.

(1) Estender o processo de transformação da gramática da planta do *De re aedificatoria* às restantes gramáticas paralelas — corte, alçado e vista axonométrica. Esta tarefa ampliaria os resultados da investigação, uma vez que, explicitaria desvios dos projetos de Alberti e do *corpus* de edifícios portugueses ao nível das relações espaciais e proporções que se definem em altimetria. Simultaneamente permitiria uma caracterização mais completa das linguagens de projeto dos diversos cânones em estudo.

(2) Coligir a gramática de sistematização da coluna com a gramática de forma dos edifícios sagrados de planta retangular. No âmbito dos trabalhos do projeto *Alberti Digital*, Coutinho (2014) desenvolveu uma gramática de forma de sistematização da coluna a partir das descrições do *De re aedificatoria*, o conhecimento relativo às regras desta gramáticas foi implementado nas gramáticas apresentadas nesta tese, no entanto sem aplicar a derivação de formas de pormenor, isto é, consideraram-se as dimensões e proporções máximas dos seus componentes e o seu poder combinatório para a derivação de proto-colunas, proto-entablamentos e proto-pedestal e proto-frontão. A integração das “duas escalas” decorreria do desenvolvimento de uma gramática composta pelas duas em que substituiriam as “formas máximas” pelas “formas de pormenor” através de marcadores que assinalassem a localização desses elementos.

(3) Implementar a transformação da gramática do *De re aedificatoria* num modelo computacional de funcionamento paramétrico. Uma progressão natural dos trabalhos seria a adequação do modelo computacional paramétrico, apresentado no capítulo 3.3.4. *Um pseudo-interpretador da gramática*, ao processo de transformação da gramática, exposto em 4.4.4. *Uma gramática de forma de edifícios sagrados de planta retangular, segundo a teoria e projeto de Alberti*, contribuindo para a automatização da geração de soluções de projeto e para o estudo comparativo de um processo de transformação gramatical com um processo de adequação de um modelo computacional.

(4) Definir uma gramática de forma analítica representativa da linguagem de projeto de um *corpus* de igrejas portuguesas do período da Contrarreforma pela transformação da gramática albertiana. Este processo centrar-se-ia na ampliação de sistemas de proporções e na adição de novas relações espaciais que previssem: a adição de falso transepto; a abertura de ligações intercomunicantes nas capelas laterais; a adição de compartimentos secundários, ou torres sineiras, nas laterais da frontaria e tardoz, regularizando o traçado dos edifícios; e a adição de cúpula sobre o cruzeiro.

(5) Ampliar o *corpus* de igrejas portuguesas utilizadas na avaliação analítica da gramática albertiana. O aumento do número de exemplares que compõem o *corpus* de igrejas portuguesas utilizadas como estudo de caso permitiria retratar de modo mais alargado o influxo albertiano na área de interferência portuguesa, ampliando a caracterização da linguagem de projeto das igrejas portuguesas edificadas nos séculos XVI e XVII. Se quisermos restringir o estudo de caso a tipologias

compostas por nave única, capela-mor e aberturas nas laterais, entre outras, poder-se-iam considerar ainda os seguintes exemplos: a igreja do Colégio da Graça (Coimbra c.1548-1555), a igreja de São Paulo (Braga, 1569-1589), a igreja da N. Sra. do Loreto (Lisboa, c.1577), a igreja do Colégio de Santo-Antão-o-Novo (Lisboa, c.1579), a igreja do Colégio do Carmo (Coimbra, c.1597-1600), a Sé Nova de Coimbra (c. 1598-1640), a igreja de S. Bento (Coimbra, c.1600) e a igreja de S. Bento da Vitória (1604-1690). Existem ainda um vasto número de igrejas construídas no espaço Atlântico e Índico português desse período enquadráveis como estudo de caso.

(6) A inferência de regras que considerem condições específicas do contexto. O mapeamento de um conjunto de condições específicas de carácter local que podem restringir o delineamento dos edifícios, tendo consequências na linguagem de projeto. A origem destas regras poderia ser do domínio da: *Região* (um dos descritores da edificatória albertiana); dimensão e geometria da parcela; existência de arruamentos, espaços públicos e edificações contíguas à parcela para implantação do edifício (como se verifica na igreja de Sant'Andrea em Mântua e na igreja de São Roque em Lisboa); a orientação. Ou ainda, no caso de igrejas associadas a complexos religiosos, integrar regras que relacionam a disposição e dimensionamento das igrejas com os restantes edifícios.

(7) O desenvolvimento de algoritmos e modelo computacional que automatize a inferência de um conjunto de proporções de um projeto pertencente a uma tipologia pré-definida. Dada uma tipologia de edifícios em estudo — caracterizada por uma constância relativa de relações espaciais —, que se define num conjunto de finito parâmetros, pelo recurso ao reconhecimento automático de linhas máximas de um determinado projeto em análise, poder-se-ia automatizar o levantamento das suas proporções. A colaboração desta ferramenta com uma base de dados que contenha um conjunto de sistemas de proporções que se aplicam a essa tipologia poderá auxiliar à identificação de desvios de um projeto relativamente a um cânone pré-estabelecido. Coloca-se a hipótese da aplicação deste método ao estudo de variações proporcionais na composição interna de igrejas do período da Renascença compostas por nave central, capela-mor e aberturas nas laterais.

(8) Implementação da capacidade generativa das gramáticas de forma e do modelo computacional paramétrico desenvolvido em *Ghrassopper* numa plataforma online. O *Grasshopper* não permite a manipulação simultânea que diversas pessoas, em diferentes terminais, do mesmo modelo computacional, por este motivo existem limitações ao nível da sua utilização online a partir de um servidor. No sentido de contornar este problema, propõe-se a tradução do modelo computacional numa outra linguagem de programação que possibilite a sua utilização online. Para este efeito, sugere-se o *Processing*<sup>290</sup> uma linguagem de programação orientada ao desenvolvimento de projetos de artistas visuais, de possível utilização online e desenvolvimento de meios de controlo interativo de modelos paramétrico, pelo recurso a uma extensa biblioteca de códigos — o *ProcessingJS* —, que permite essa mesma integração através de *Javascript*.

---

<sup>290</sup> A linguagem de programação *Processing* foi inicialmente desenvolvida por Ben Fry e Casey Reas, no MIT em 2001. A este propósito ver o portal <https://processing.org/> e ainda o livro *Processing. A programming Handbook for Visual Designers and Artists* (Reas e Fry, 2007).



## **7. Bibliografia**



- Abreu, S. M. (2010). A obra do arquitecto italiano Francesco da Cremona (c.1480 - c.1550) em Portugal: novas pistas de investigação. In N. M. Ferreira-Alves (Ed.), *A Encomenda. O Artista. A Obra* (pp. 557-583). Porto: CEPESE – Centro de Estudos da População, Economia e Sociedade.
- Ackerman, J. S. (1972). The Gesù in the Light of contemporary Church Design. In R. Wittkower, & I. B. Jaffe, *Baroque Arte: The Jesuit Contribution*. New York : Fordham University Press.
- Aish, R. (2013). First Build Your Tools 36-49. In B. Peters, & T. Peters, *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design* (pp. 36-49). Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Alberti, L. B. (2011). *Da Arte Edificatória*. (A. M. Santo, & M. J. Krüger, Trans.) Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Alberti, L. B. (1485). *De re aedificatoria*. Florença: Niccolò di Lorenzo Alamanni.
- Alberti, L. B. (1565). *L'Architettura di Leon Battista ALberti*. (C. Bartoli, Trad.) Veneza: Arnaldo Forni Editore.
- Alberti, L. B. (1541). *De re aedificatoria libri decem*. (M. I. Moguntinus, Ed., & E. Tappe, Trad.) Strasbourg: Argentorati.
- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Beirão, J. N. (2012). *CityMaker: Design Grammars for Urban Design*. Rotterdam: Delft University of Technology, Faculty of Architecture, Department Urbanism Department Architectural Engineering + Technology.
- Beirão, J. N. (2014). Gramáticas genéricas para o domínio da cidade e urbanismo. *Revista de Morfologia Urbana, Perspetivas*, 2 (1), 44-46.
- Borsi, F. (1986). *Leon Battista Alberti: The Complete Works*. Itália: Electa /Rizzoli Milano.
- Branco, M., Santos, J., & Figueiredo, P. (2005). *Colégio do Espírito Santo / Colégio da Companhia de Jesus*. (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, I.P. (IHRU)) Obtido em 10 de Maio de 2015, de SIPA – Sistema de Informação para o Património Arquitectónico: [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=3839](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=3839)
- Branco, R. L. (2008). *Italianismo e contra-reforma : a obra do arquitecto Baltazar Álvares em Lisboa*. Lisboa: FCSH-UNL.
- Bustamante García, A. (1994). Juan de Herrera, El Escorial y la Catedral de Valladolid. In *Tiempo y espacio en al arte : homenaje al profesor Antonio Bonet Correa* (Vol. 1, pp. 415-432). Madrid: Editorial Complutense.
- Castex, J. (1994). *Renacimiento, Barroco y Clasicismo: Historia de la Arquitectura, 1420-1720*. Madrid: Ediciones Akal.
- Castro e Costa, E. (2012). *Modelação computacional e materialização digital de elementos clássicos de arquitectura - Sistematizando a coluna de Alberti*. Lisboa: Faculdade de Arquitectura da Universidade de Lisboa.
- Chase, S. C. (11 de July de 2010). *Shape grammar implementation: from theory to useable software*. Obtido em 29 de Abril de 2015, de <http://www2.mech-eng.leeds.ac.uk/users/men6am/documents/DCC2010grammarsworkshop-Chase-revised.pdf>
- Chase, S. C. (1989). Shapes and shape grammars: from mathematical model to computer implementation. *Environment and planning B: planning & design*, 16 (2), 215–242.
- Chatzikonstantinou, Y. (s.d.). *Hoopsnake for Grasshopper*. Obtido em 6 de 6 de 2015, de Yannis Chatzikonstantinou: <http://yconst.com/software/hoopsnake/>

- Chau, H. H., Chen, X., McKay, A., & Pennington, A. (2004). Evaluation of a 3D Shape Grammar Implementation. (J. S. Gero, Ed.) *Design Computing and Cognition '04* , 357-376.
- Chiou, S.-C., & Krishnamurti, R. (1995). The grammar of Taiwanese traditional vernacular dwellings. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 22, 689-720.
- Choay, F. (1985). *A Regra e o Modelo: Sobre a Teoria da Arquitetura e do Urbanismo*. (G. G. de Souza, Trad.) São Paulo: Editora Perspectiva.
- Choay, F. (1994, Outubro). Françoise Choay. (T. Paquot, Intervieweur)
- Chomsky, N. (1969). *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ciapponi, L. A. (1984). Fra giocondo da verona and his edition of vitruvius. *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes* , 47, 72-90.
- Çolakoglu, M. B. (2002). An Informal Shape Grammars for Interpolations of Traditional Bosnian Hayat Houses in a Contemporary Context. *Generative Art*, (pp. 15.1-15-9).
- Çolakoglu, M. B. (2005). Design by grammar: an interpretation and generation of vernacular hayat houses in contemporary context. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 32, 141- 149.
- Correia, R. C. (2012). *DESIGNA - A Shape Grammar Interpreter*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Costa, J. P. (2000). A Diáspora Missionária. In C. M. Azevedo, *História Religiosa de Portugal* (Vol. 2). Lisboa: Círculo de Leitores.
- Coutinho, F. (2014). *Gramática da Forma da Sistematização da Coluna de Alberti*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Crilly, T. (2007). *50 mathematical ideas you really need to know*. Londres: Quercus Publishing.
- Davis, D. (2013). *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the practice of Architecture*. Melbourne: RMIT University.
- Dias, P. (1999). *Atlântico, História da Arte Portuguesa no Mundo (1415-1822): O Espaço do*. Navarra, Espanha: Círculo de Leitores.
- Dias, P. (2008). *História da arte portuguesa no mundo (1415-1822) - O Espaço do Índico* (Vol. 1). Lisboa: Círculo de Leitores.
- Downing, F., & Flemming, U. (1981). The Bungalows of Buffalo. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 8, 269-293.
- Duarte, J. P. (2001). *Customizing Mass Housing: A Discursive Grammar for Siza's Malagueira Houses*. Cambridge: MIT.
- Duarte, J. P. (1999). *Malagueira - Alvaro Siza Vieira*. Obtido em 04 de Abril de 2015, de <http://home.fa.ulisboa.pt/~jduarte/malag/>
- Duarte, J. P. (2007). *Personalizar a Habitação em Série: Uma Gramática Discursiva para as Casas da Malagueira de Siza*. (M. Antunes de Castro, & J. P. Duarte, Trads.) Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian e Fundação para a Ciência e Tecnologia.
- Duarte, J. P., Costa, E. C., Coutinho, F., Figueiredo, B., & Krüger, M. (2015). Descodificando o De re aedificatoria: usar as novas tecnologias para caracterizar a influência de Alberti na arquitetura clássica em Portugal . In M. Krüger (Ed.), *Na génese das racionalidades modernas II: em torno de Alberti e do Humanismo* (pp. 199-223). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra .
- Duarte, J. P., Rocha, J., & Soares, G. D. (2007). Unveiling the structure of the Marrakech Medina: A shape grammar and an interpreter for generating urban form. *AI EDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing* , 21 (04), 317-349.

- Eloy, S. (2012). *A transformation grammar-based methodology for housing rehabilitation: meeting contemporary functional and ICT requirements*. Lisboa: Instituto Superior de Lisboa.
- Figueiredo, B. (2009). *Projecto, computação e fabrico: para a integração das tecnologias digitais em arquitectura*. Lisboa: Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa.
- Figueiredo, B. (2013). Computação e síntese de projecto: modelos computacionias como instrumentos metodológicos no ensino de projecto. *JOELHO*, I (4), pp. 90-93.
- Figueiredo, B., Castro e Costa, E., Duarte, Pinto, J., & Krüger, M. (2013). Digital temples : a shape grammar to generate sacred buildings according to Alberti's theory. *Proc. of Future Traditions 2013 - 1st eCAADe Regional Meeting* (pp. 63-70). Porto: FAUP.
- Figueiredo, B., Duarte, Pinto, J., & Krüger, M. (2013). Albertian Grammatical Transformations. *Computation and Performance - Proceedings of the 31st eCAADe Conference*. 2, pp. 687-696. Delft: UT Delft.
- Figueiredo, B., Castro e Costa, E., Araújo, B., Jorge, J. F., Mendes, D., Jorge, J. A., et al. (2014). Interactive Tabletops for Architectural Visualization: Combining Stereoscopy and Touch Interfaces for Cultural Heritage. *Fusion, Proceedings of the 32nd International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. 1, pp. 585-592. Newcastle upon Tyne: Northumbria University.
- Figueiredo, B., Duarte, J. P., Krüger, M., & Sousa, L. (2014). Alberti Digital on Portuguese Architecture: Shape Grammar transformations as computational framework to determine the influence of Alberti legacy on Portuguese Renaissance churches. *JOELHO*, II (5), pp. 42-51.
- Flemming, U. (1987). More than the sum of parts: the grammar of Queen Anne houses. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 14, 323-350.
- Gips, J. (2012). Obtido em 19 de Janeiro de 2012, de Shape grammars provide a computational approach to the generation of designs: <http://www.shapegrammar.org>
- Gips, J. (1975). *Shape Grammars and their Uses: Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics*. Birkhauser.
- Gips, J., & Stiny, G. (1980). Production systems and grammars a uniform characterization. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 7, 399-410.
- Gips, J. (1999). Computer Implementation of Shape Grammars. *Workshop on Shape Computation*.
- Gomes, P. V. (2007). *14,5 ensaios de história e arquitectura*. Coimbra: Livraria Almedina.
- Grasl, T., & Economou, A. (2013). From topologies to shapes: parametric shape grammars implemented by graphs. *40* (5), 905 – 922.
- Grassi, G. (2015). *Leon Battista Alberti e a arquitectura romana* (Edição original em 2007 ed.). (J. M. Rodrigues, Trad.) Porto: Fundação Instituto José Marques da Silva, Edições Afrontamento.
- Hair, J. F., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2005). *Análise multivariada de dados*. São Paulo: Bookman.
- Haupt, A. (1996). *A Arquitectura do Renascimento em Portugal*. (M. Morgado, Trad.) Lisboa: Editorial Presença.
- Hofstadter, D. (1999). *Gödel, Escher, Bach: Laços Eternos* (Trad. Portuguesa ed.). Lisboa: Gradiva.
- Johnson, E. J. (1975). *S. Andrea in Mantua: The Building History*. University Park: The Pennsylvania State University.
- Kanerva, L. (1998). *Defining the Architect in Fifteenth-Century Italy. Exemplary Architects in L. B. Alberti's De Re aedificatoria*. Helsinki: Finnish Academy of Science and Letters.
- Karvouni, M. (1994). Il ruolo della matematica nel "De re aedificatoria" dell'Alberti. In J. Rykwert, & A. Engel, *Leon Battista Alberti* (pp. 282-291). Milão: Olivetti/Electa.

- Katz, V. J. (2010). *História da Matemática*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Knight, T. W. (1981). The Forty-one steps: The language of Japanese tea-room designs. *Environment and Planning B* , 8, 97-114.
- Knight, T. W. (1980). The generation of Hepplewhite-Style chair-back designs. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 7, 227-238.
- Knight, T. W. (1983a). Transformations of language of design: part 1. *Environment and Planning B: Planning and Design* (10), 125-128.
- Knight, T. W. (1983b). Transformations of language of design: part 2. *Environment and Planning B: Planning and Design* (10), 129-154.
- Knight, T. W. (1983c). Transformations of language of design: part 3. *Environment and Planning B: Planning and Design* (10), 155-177.
- Knight, T. W. (1989). Color Grammars: Designing with Lines and Colors. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 16 (4), pp. 417-449.
- Knight, T. W. (1993). The Representation of Form and Color in Designs. *Leonardo* , 26 (2), pp. 117-124.
- Knight, T. W. (1994). *Transformations in design: A formal approach to stylistic change and innovation in the visual arts*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Knight, T. W. (1994). Shape grammars and color grammars in design. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 21, 705-735.
- Knight, T. W. (1999). *Applications in Architectural Design, and Education and Practice*. MIT, Department of Architecture School of Architecture and Planning, Cambridge.
- Knight, T. W. (1999). Shape grammars : six types. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 26, 15-31.
- Knight, T. W. (2014). Regarding Rules: From Rimini to Rio. (J. Figueira, & G. Canto Moniz, Edits.) *Joelho #5* , 12-27.
- Koning, H., & Eizenberg, J. (1981). The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 8, 295-323.
- Krüger, M. J. (2011). Introdução. In L. B. Alberti, *Da Arte Edificatória* (pp. 17-129). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Krüger, J. T. (2014). *Comentários à Arte Edificatória de Leon Battista Alberti*. Coimbra, Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Krüger, M. (2015). A relevância do De re aedificatoria na herança disciplinar da arquitetura clássica em Portugal: a influência da obra escrita de Alberti. In M. Krüger (Ed.), *Na génese das racionalidades modernas II: em torno de Alberti e do Humanismo* (pp. 441-471). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Krüger, M., & Silva, C. (1998). A Gramática da forma das igrejas cistercienses. *Colóquio sobre Cister-Espaços, Territórios, Paisagens* (pp. 309-335). IPPAR.
- Krautheimer, R. (1971). *Studies In Early Christian, Medieval And Renaissance Art* . University of London Press.
- Krishnamurti, R. (1982). *Sgi: a shape grammar interpreter*. Milton Keynes: Centre for Configurational Studies. The Open University.
- Krishnamurti, R., & Earl, C. F. (1992). Shape recognition in three dimensions. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 19, 585-603.

- Krishnamurti, R. (1992a). The arithmetic of maximal planes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 19, 431-464.
- Krishnamurti, R. (1992b). The maximal representation of shape. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 19, 267-288.
- Krishnamurti, R., & Giraud, C. (1986). Towards a shape editor: the implementation of a shape generation system. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 13 (4), 391-404.
- Krishnamurti, R. (2009). *48-747 Shape Grammars: shape, computation and languages of design*. Obtido em 2015, de <https://www.andrew.cmu.edu/course/48-747/>
- Kubler, G. A. (2005). *A arquitectura portuguesa chã : entre as especiarias e os diamantes, 1521-1706* (1ª edição 1988 ed.). (J. H. Silva, Trad.) Lisboa: Nova Vega.
- Leitão, A. M. (Fevereiro de 2007). *Introdução à Programação com AutoLisp*. Obtido em 5 de Maio de 2015, de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571825092/autolisp.pdf>
- Leitão, A., & Santos, L. (2011). Programming Languages for Generative design: Visual or Textual? *ecaade 2011* (pp. 549-557). Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Architecture.
- Li, A. I.-k. (2001). *A shape grammar for teaching the architectural style of the Yingzao fashi*. Cambridge: MIT.
- Li, A. I.-K., Chen, L., Chau, H. H., & Wang, Y. (2009). A Prototype System For Developing Two- And Three-Dimensional Shape Grammars. *Proc. 14th Int. Conf. Computer-Aided Architectural Design Research in Asia* (pp. 717- 726). Taiwan: CAADRIA.
- Lobo, R. (2014). A arquitectura das primeiras igrejas jesuítas em Portugal: São Roque de Lisboa e Espírito Santo de Évora. Confessionários, púlpitos e tribunas. In M. I. Zamora, & J. I. Fernández (Edits.), *LA COMPAÑÍA DE JESÚS Y LAS ARTES: Nuevas perspectivas de investigación* (pp. 233-257). Zaragoza: Departamento de Historia del Arte: Universidad Zaragoza.
- Loewen, A. B. (2011). Estilo desornamentado, arquitetura chã: alguns aspectos do Renascimento na Península Ibérica. *Pós: Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, 18 (30), pp. 56-69.
- Lopes, J. A. (2012). *Modern Programming for Generative Design*. Instituto Superior Técnico.
- Machado, J. (2005). *Mosteiro de Santo Antão-o-Velho / Colégio de Santo Antão / Convento do Coleginho / Igreja Paroquial do Socorro / Igreja de Nossa Senhora do Socorro*. (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, I.P. (IHRU)) Obtido em 23 de Junho de 2015, de SIPA – Sistema de Informação para o Património Arquitectónico: [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=21700](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=21700)
- March, L. (1998). *Architectonics of humanism : essays on number in architecture*. Chichester: Academy Editions.
- Martins, A. (2015). *Igreja de São Roque*. Obtido em 10 de Maio de 2015, de Direcção-Geral do Património Cultural: <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/71215/>
- Martins, F. S. (1994). *A arquitectura dos primeiros colégios jesuítas de Portugal : 1542-1759 : cronologia, artistas, espaços* (Vol. 2). Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Martins, F. S. (2004). Culto e devoções das Igrejas dos Jesuítas em Portugal. *Colóquio Internacional A Companhia de Jesus na Península Ibérica nos sécs. XVI e XVII* (pp. 89-118). Porto: Universidade do Porto. Faculdade de Letras.
- Martins, F. S. (2007). S. Silvestre Jorge : exemplo de mobilidade artística e protótipo de arquitecto jesuíta da segunda metade do século XVI . *Artistas e artífices e a sua mobilidade no mundo de expressão portuguesa: Actas do*

- Colóquio Luso-Brasileiro de História da Arte (pp. 159-164). Porto: Universidade do Porto. Faculdade de Letras.
- Martins, L. (2000). *Relação entre poluição atmosférica e algumas doenças respiratórias em idosos: avaliação do rodízio de veículos no município de São Paulo*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Marôco, J. (2007). *Análise Estatística com utilização do SPSS* (3ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo.
- Mattoso, J. (2010). *África, Mar Vermelho [e] Golfo Pérsico : património de origem portuguesa no mundo : arquitectura e urbanismo*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Mattoso, J. (2010). *América do Sul : património de origem portuguesa no mundo : arquitectura e urbanismo*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Mc Cullough, M. (2006). 20 years of scripted space. *Architectural Design: Programming Cultures: Art and Architecture in the Age of Software*, 76 (4), pp. 12-16.
- McCormack, J. P., Cagan, J., & Vogel, C. M. (2004). Speaking the Buick language: capturing, understanding, and exploring brand identity with shape grammars. *Design Studies*, 25 (1).
- McEwen, I. K. (2003). *Vitruvius: writing the body of architecture*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- McGill, M. (2002). Shaper2D - Visual Software for Learning Shape Grammars. *Connecting the Real and the Virtual - design e-ducation: 20th eCAADe Conference Proceedings* (pp. 148-151). Warsaw: Warsaw University of Technology.
- McKay, A., Chase, S., Shea, K., & Chau, H. H. (2012). Spatial grammar implementation: From theory to useable software. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 26, 143-159.
- Mithcell, W. (1990). *The Logic of Architecture: Design, Computation and Cognition*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Moreira, R. (1991). *A Arquitectura do Renascimento no Sul de Portugal. A Encomenda Régia entre o Moderno e o Romano*. Lisboa: FCSH Universidade Nova de Lisboa.
- Moreira, R. (1988). Origens da Arquitectura do Renascimento em Portugal. In *Mundo da Arte* (Vols. No.1, II série, pp. 5-23). Lisboa: Publicações Ciência e Vida.
- Moreira, R. (1995). Arquitectura: Renascimento e Classicismo. In P. Pereira (Ed.), *História da arte portuguesa* (Vol. II, pp. 303-375). Lisboa: Círculo de Leitores.
- Moreira, R. (1998). Tratado de Arquitectura do Séc. XVI (1576-1579). In H. Carita, & R. Araújo (Edits.), *Universo Urbanístico Português, 1415-1822*. Lisboa: Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses.
- Moreira, R., & Rodrigues, A. D. (2011). *Tratados de arte em Portugal / Art Treatises in Portugal*. (v, Ed.) Lisboa: Scribe.
- Morolli, G., & Guzzon, M. (1994). *Leon Battista Alberti: I nome e le figure: ordini, templi, fabbriche civili: immagini e architetture dai libri VII e VIII del De reaedificatoria*. Florença: Alinea Editrice.
- Naghetini, M., & Pinto, É. J. (2007). *Hydrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM Serviço Geológico do Brasil.
- Noé, P., Vale, T., Gomes, C., Martas, H., & Avellar, F. (2007). *Casa Professa de São Roque / Igreja e Museu de São Roque*. (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, I.P. (IHRU)) Obtido em 10 de Maio de 2015, de SIPA – Sistema de Informação para o Património Arquitectónico: [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=6227](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=6227)

- Oliveira, C. (2007). *Igreja de São Vicente de Fora*. Obtido em 10 de Maio de 2015, de Direcção-Geral do Património Cultural: <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/71213>
- Olivetti / Alberti Group. (1998). *Alberti's photogrammetric survey drawings*. (Computer Mapping Services Ltd (CMS)) Obtido em 10 de 10 de 2011, de University of Bath: <http://www.bath.ac.uk/casa/alberti/index.html>
- Patetta, L. (2003). A arquitectura da Companhia de Jesus entre maneirismo e barroco. In F. S. Martins (Ed.), *Actas do II Congresso Internacional do Barroco*. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Patetta, L. (2005). Teoria e pratica. Appunti sul pensiero e sulle opere de Leon Battista Alberti. In G. Grassi, & L. Patetta, *Leon Battista Alberti architetto*. Firenze: Banca CR Firenze.
- Payne, A. A. (1999). *The Architectural Treatise in the Italian Renaissance, Architectural Invention, Ornament, and Literary Culture*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Pereira, A. N. (2011). Renaissance in Goa: Proportional Systems in Two Churches of the Sixteenth Century. *Nexus Network Journal*, 13 (2), 373-396.
- Pereira, A. N. (2015). A relevância do De re aedificatoria na herança disciplinar da arquitetura clássica em Portugal: a influência da obra construída de Alberti. In M. Krüger (Ed.), *Na génese das racionalidades modernas II: em torno de Alberti e do Humanismo* (pp. 471-493). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Pereira, P. (1992). A Arquitectura Jesuíta Primeiras Fundações. In *Oceanos: Os Jesuítas e a ideia de Portugal* (pp. 104-111). Lisboa: Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimientos Portugueses.
- Pereira, P. (2011). *Arte Portuguesa: História Essencial*. Lisboa: Temas e Debates.
- Pevsner, N., Fleming, J., & Honour, H. (1980). *Diccionario de Arquitectura* (3a. edição (1996) ed.). Madrid: Alianza Editorial.
- Real, M. L. (Março de 1995). O Convento Românico de São Vicente de Fora. *Monumentos* (2), pp. 14-23.
- Reas, C., & Fry, B. (2007). *Processing. A Programming Handbook for Visual Designer and Artists*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Reis, E. (2008). *Estatística Descritiva* (7ª Edição ed.). Lisboa: Edições Sílabo.
- Rodrigues, A. D. (2011). The Circulation of Art Treatises in Portugal between the XV and the XVIII Centuries: Some Methodological Questions. In R. Moreira, *Tratados de arte em Portugal / Art Treatises in Portugal* (pp. 21-42). Lisboa: Scribe.
- Rossano, B. (11 de Outubro de 2011). *Roma AD MMXI - Basilica Constantini - Basilica de Constantino*. Obtido em 24 de Maio de 2015, de Geolocation: <https://geolocation.ws/v/P/61579672/roma-ad-mmxi-basilica-constantini/en#>
- Rowe, P. G. (1987). *Design Thinking*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Rykwert, J. (1979). *AD Profiles 21: Leonis Batiste Alberti* (Vol. 49). London: Architectural Design.
- Rykwert, J., & Engel, A. (1994). *Leon Battista Alberti*. Milão: Olivetti/Electa.
- Santos, P. F. (1966). Contribuição ao estudo da arquitectura da Companhia de Jesus em Portugal e no Brasil. *Actas V Colóquio Internacional de Estudos Luso-Brasileiros. IV*, pp. 515-569. Coimbra, 1963: Gráfica de Coimbra.
- Santos, R. (1968-70). Relance Sobre a Arquitectura do Renascimento. In R. d. Santos, & I. Quilhó, *Oito Séculos de Arte Portuguesa: História e Espírito* (Vol. II). Empresa Nacional de Publicidade.
- Schapiro, M. (1980). Style. In M. Philipson, & P. Gudel, *Aesthetics Today* (pp. 139-140). New York and Scarborough, Ontario, Canada: New American Library.

- Scott, M. L. (2006). *Programming Language Pragmatics*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Sebregondi, G. C. (Janeiro de 2008). *La ricostruzione del Tempio. Il restauro post-bellico del Tempio Malatestiano di Rimini*. Obtido em Março de 2015, de Engramma: [http://www.gramma.it/eOS/index.php?id\\_articolo=204](http://www.gramma.it/eOS/index.php?id_articolo=204)
- Segurado, J. (1987). Juan de Herrera em Portugal. In P. Dias (Ed.), *As relações artísticas entre Portugal e Espanha na época dos descobrimentos: II Simpósio Luso-Espanhol de História da Arte* (p. 496). Coimbra: Minerva.
- Senos, N. (2012). A arquitectura chá antes e depois de George Kubler. *Tritão Revista de história, arte e património* (1).
- Sereno, I., Santos, J., Noé, P., & Costa, P. (2005). *Igreja e Colégio de São Lourenço / Igreja e Convento dos Grilos / Seminário Maior de Nossa Senhora da Conceição*. (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, I.P. (IHRU)) Obtido em 10 de Maio de 2015, de SIPA – Sistema de Informação para o Património Arquitectónico: [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=5476](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=5476)
- Serlio, S. (1990). *Tercero y cuarto libro de arquitectura* (Ed. facsimilada de 1552 ed.). Barcelona: Editorial Alta Fulla.
- Seroux d'Agincourt, J. (1823). *Histoire de l'art par les monuments, depuis sa décadence au IVme siècle jusqu' à son renouvellement au XVIme* (Vols. IV, illustrations «Planches. Architecture (1810-12) et Sculpture (1812-17)»). Paris.
- Serrão, V. (Março de 1995). O projeto de retábulo-mor de Francisco Venegas para a igreja do Mosteiro de São Vicente de Fora. *Monumentos* (2), pp. 27-32.
- Shea, K. (1997). *Essays of Discrete Structures: Purposeful Design of Grammatical Structures by Directed Stochastic Search*. Carnegie Mellon University.
- Shea, K., & Cagan, J. (1999). The design of novel roof trusses with shape annealing: assessing the ability of a computational method in aiding structural designers with varying design intent. *Design Studies* 20, 20 (1), 3-23.
- Silva, J. H. (1983). *Estudos Sobre o Maneirismo*. Lisboa: Editorial Estampa.
- Silva, J. H. (1992a). *Páginas de História de Arte: 1. artistas e monumentos* ((1986) 2a. ed.). Lisboa: Editorial Estampa.
- Silva, J. H. (1992b). *Páginas de História de Arte: 2. estudos e ensaios* ((1986) 2a. ed.). Lisboa: Editorial Estampa.
- Silva, J. H., & Calado, M. (2005). *Dicionário de Termos de Arte e Arquitectura*. Lisboa: Editorial Presença.
- SML. (?). *Colégio do Espírito Santo*. Obtido em 10 de Maio de 2015, de Direcção-Geral do Património Cultural: <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/69788>
- Sobral, L. (2004). Espiritualidade e propaganda nos programas iconográficos dos Jesuítas Portugueses. *Colóquio Internacional A Companhia de Jesus na Península Ibérica nos sécs. XVI e XVII* (pp. 387-414). Porto: Universidade do Porto. Faculdade de Letras.
- Soromenho, M. (1995a). Do Escorial a São Vicente de Fora: algumas notas sobre Filipe II e a arquitetura portuguesa. *Monumentos* (2), pp. 24-26.
- Soromenho, M. (1995b). Classicismo, Italianismo e «Estilo Chão» . O ciclo filipino. In P. Pereira, *História da Arte Portuguesa* (Vol. 2, pp. 377-403). Lisboa: Círculo de Leitores.

- Soromenho, M., & Saldanha, N. (1994). O Mosteiro e Igreja de São Vicente de Fora. In *O Livro de Lisboa* (pp. 207-218). Lisboa: Livros Horizonte.
- Stiny, G. (1975). *Pictorial and Formal Aspects of Shape and Shape Grammars*. Bael: Birkhauser.
- Stiny, G. (1977). Ice-ray: a note on the generation of Chinese lattice designs. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 4, 89-98.
- Stiny, G. (1980a). Introduction to shape and shape grammars. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 7, 343-351.
- Stiny, G. (1980b). Kindergarten Grammars: designing with Froebel's building gifts. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 7, 409-462.
- Stiny, G. (1981). A note on the description of designs. *Environment and Planning B: Planning and Design* (8), 257-267.
- Stiny, G. (1982). Spatial relations and grammars. *Environment and Planning B*, 9 (1), 113-114.
- Stiny, G. (1990). What is a design? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 17, 97-193.
- Stiny, G. (1991). The algebras of design. *Research in Engineering Design*, 2 (3), 171-181.
- Stiny, G. (1992). Weights. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 19 (4), 413 – 430 .
- Stiny, G. (2006). *Shape: Talking about Seeing and Doing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Stiny, G., & Gips, J. (1972). Shape Grammars and the Generative Specification on Painting and Sculpture. (C. V. Frieman, Ed.) *Information Processing*, 71, 1460-1465.
- Stiny, G., & Gips, J. (1978). *Algorithmic Aesthetics*. Berkeley, Califórnia: University of California Press.
- Stiny, G., & Mitchell, W. (1978). The Palladian Grammar. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 5, 5-18.
- Stouffs, R. (1994). *The algebra of shapes*. Pittsburgh, Pa: Carnegie Mellon University.
- Stouffs, R. (2014). Towards a Formal Representation for Description Rules. In M. E. Thompson (Ed.), *Fusion - Proceedings of the 32nd International Conference on Education and research in Computer aided Architectural Design in Europe. 2*, pp. 347-356. Newcastle upon Tyne: eCAADe, Northumbria University.
- SWAP Architekten ZT GmbH. (s.d.). *GRAPE*. Obtido em 18 de 02 de 2015, de <http://grape.swap-zt.com>
- Tapia, M. A. (1996). *From shape to style. shape grammars: Issues in representation and computation, presentation and selection* (PhD Thesis ed.). Toronto: Department of Computer Science, University of Toronto.
- Tapia, M. A. (1999). A visual implementation of a shape grammar system. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26, 59-73.
- Tavares, D. (2004). *Leon Baptista Alberti teoria da arquitectura*. Porto: Dafne Editora.
- Tavernor, R. W. (1995). Architectural history and computing: developing a new discipline. In J. Wilcock, & K. Lockyear (Ed.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1993*. Oxford: BAR International Series.
- Tavernor, R. W. (1985). *Concinnitas in the Architectural Theory and Practice of Leon Battista Alberti*. Cambridge, UK.
- Tavernor, R. W. (1998). *On Alberti and the art of building*. New Haven, London: Yale University Press.
- Terzi, F. (1578). *Estudos sobre embadometria, estereometria e as ordens de arquitectura*. Obtido em 01 de Julho de 2015, de Biblioteca Nacional de Portugal: [http://purl.pt/117/4/cod-12956\\_PDF/cod-12956\\_PDF\\_24-C-R0150/cod-12956\\_0000\\_capa-capa\\_r24-C-R0150.pdf](http://purl.pt/117/4/cod-12956_PDF/cod-12956_PDF_24-C-R0150/cod-12956_0000_capa-capa_r24-C-R0150.pdf)

- Terzidos, K. (2006). *Algorithmic Architecture*. Oxford: Elsevier.
- Vale, T., Gomes, C., & Matias, C. (2005). *Igreja e Mosteiro de São Vicente de Fora / Igreja Paroquial de São Vicente de Fora / Igreja de São Vicente, São Tomé e Salvador / Paço Patriarcal de São Vicente*. (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, I.P. (IHRU)) Obtido em 10 de Maio de 2015, de SIPA – Sistema de Informação para o Património Arquitectónico:  
[http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=6529](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=6529)
- Vasari, G. (9 de October de 2008). *Lives of the Most Eminent Painters Sculptors and Architects Vol. 3 (of 10), Filarete and Simone to Mantegna*. (M. C. Team, Produtor) Obtido em 10 de Março de 2015, de Project Gutenberg: [http://www.gutenberg.org/files/26860/26860-h/26860-h.htm#Page\\_41](http://www.gutenberg.org/files/26860/26860-h/26860-h.htm#Page_41)
- Viterbo, S. (1899). *Dicionário histórico e documental dos architectos, engenheiros e constructores portugueses ou a serviço de Portugal* (Comissão dos Monumentos ed., Vol. 1). Lisboa: Imprensa Nacional.
- Vitruvio, P. M. (1914). *The Ten Books on Architecture*. (M. H. Morgan, Trad.) Cambridge: Harvaerd University Press.
- Vitrúvio. (2009). *Tratado de Arquitectura* (3ª edição ed.). (M. J. Maciel, Trad.) Lisboa: IST Press.
- Wang, Y. (1998). *3D Architecture Form Synthesizer* (Master Thesis ed.). Cambridge, MA: Massachusets Institute of Technology.
- Wang, Y., & Duarte, J. P. (2002). Automatic generation and fabrication of designs. *Automation in Construction*, 11, 291-302.
- Wilson, S. (2002). *Information Arts*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wittkower, R. (1971). *Architectural Principles in the Age of Humanism* (1ª edição de 1962 ed.). New york: W. W. Norton & Company.
- Wittkower, R. (1972). Problems of the Theme. In R. Wittkower, & I. B. Jaffe, *Baroque Arte: The Jesuit Contribution* (pp. 1-14). New York: Fordham University Press.
- Wittkower, R., & Jaffe, I. B. (1972). *Baroque Arte: The Jesuit Contribution*. New York: Fordham University Press.
- Xavier, J. P. (2002). António Rodrigues, a Portuguese architect with a scientific inclination. (K. W. Rodrigues, Ed.) *Nexus IV: Architecture and Mathematics*, 253-268.
- Ytterberg, M. (2008). Alberti's Sant'Andrea and the Etruscan Proportion. In K. Williams, *Nexus VII: Architecture and Mathematics* (pp. 201-216). Turin: Kim Williams Books.
- Yue, K. (2009). *Computation-Friendly Shape Grammars With Application to Determining the Interior Layout of Buildings from Image*. Pittsburgh, PA: School of Architecture Carnegie Mellon University.
- Zwierzycki, M. (s.d.). *anemone Group*. Obtido em 6 de 6 de 2015, de grasshopper3d:  
<http://www.grasshopper3d.com/group/anemone>