



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Margarida Carcel Rei

Definição de Indicadores para
Estimar Custos de Projeto e Análise
Paramétrica dos Eurocódigos Estruturais

Ana Margarida Carcel Rei | Definição de Indicadores para Estimar Custos de Projeto
e Análise Paramétrica dos Eurocódigos Estruturais



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Margarida Carcel Rei

Definição de Indicadores para
Estimar Custos de Projeto e Análise
Paramétrica dos Eurocódigos Estruturais

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Paulo B. Lourenço
Engenheira Ana Paula Assis

AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho não teria sido possível sem a presença de várias pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram a alcançar os meus objetivos e a concluir esta dissertação de mestrado. Assim, nesta secção, cujo espaço não é suficiente para agradecer como deveria, quero expressar os meus sinceros e profundos agradecimentos.

Ao distinto Professor Paulo Lourenço, orientador desta dissertação, exprimo a minha gratidão pelo apoio incondicional e pela sua disponibilidade para orientar-me ao longo destes meses. A sua sabedoria e partilha de conhecimentos foram, sem dúvida, cruciais na conclusão do trabalho que desenvolvi.

À Eng.^a Ana Paula Assis, supervisora na empresa Top Informática, agradeço pelo apoio e compreensão que sempre demonstrou e por me ter inspirado em aprofundar os meus conhecimentos e procurar fazer sempre melhor.

À empresa Top Informática, onde realizei o estágio curricular, uma mensagem de apreço por me ter recebido e pela disponibilização de informação muito útil, sem a qual não teria sido possível desenvolver este trabalho.

A todas as pessoas que me acompanharam na empresa Top informática, agradeço também pela preparação da informação, ensinamentos transmitidos e pela amizade que não irei esquecer.

Às minhas amigas Mariana Machado, Bárbara Vieira e Helena Vieira, um enorme agradecimento pelo afeto, apoio e principalmente por acreditarem em mim. As suas presenças e constante encorajamento, em todos os bons e maus momentos, foram os alicerces fundamentais para superar os obstáculos com que me deparei.

Aos meus pais, Natália Carcel e Duarte Rei, quero agradecer pela educação que me concederam ao longo da minha vida e por fazerem de mim a pessoa que sou hoje. Espero que de algum modo esta reta final da minha formação compense por todo o amor, suporte e dedicação que sempre me deram e, por isso, dedico-lhes esta dissertação.

RESUMO

Nas últimas décadas têm-se assistido à contínua evolução dos programas de cálculo automático, aos quais os projetistas estruturais recorrem devido às facilidades que oferecem ao nível do dimensionamento estrutural. Estes programas surgem em resposta à procura por uma maior qualidade estrutural, uma vez que permitem uma modelação da estrutura mais realista face às ações a que esta se encontra.

A qualidade de um projeto estrutural é um desafio, pois, não depende só do tipo de exigências feitas pelos utilizadores dos programas. Dada a abrangência dos regulamentos atualmente em vigor, depende também dos regulamentos impostos no dimensionamento estrutural, que consideram critérios para a otimização estrutural, permitindo obter estruturas mais económicas e com um comportamento adequado e previsível.

No presente documento realiza-se, inicialmente, uma análise de projetos de estruturas de uma determinada amostra geral de edifícios, com recurso ao software de cálculo automático CYPECAD e pelos métodos prescritos no Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes e pelos Eurocódigos Estruturais. Na parte final do trabalho recorre-se a um estudo comparativo de regulamentações, que permitirá a definição de indicadores médios de consumo e custos médios para vigas e pilares.

Palavras-chave: CYPECAD; Vigas; Pilares; Indicadores médios; Custos médios.

ABSTRACT

In the last decades, the continuous evolution of automatic design software is noticeable, to which engineers resort to due to the simplicity that they offer with respect to structural design. These appear as an answer to the demand of a higher structural quality, since they allow for a more realistic structural modeling with respect to the actions to which the building is subjected to.

The quality of a structural project remains a challenge because it does not depend only on the requirements made by the software users. Due to the scope of applicable regulations, quality also depends on the regulations imposed on the structural design, which consider criteria for structural optimization, allowing more economic structures and a more adequate and predictable behavior.

In the present document, first, an analysis of structural projects of a given general sample of buildings, using the automatic design software CYPECAD and the specifications of the Portuguese Code for Reinforced Concrete and Prestressed Structures, and the Code for Safety and Actions in Building and Bridges Structures, and by the Structural Eurocodes. In the final part of the work, there is a comparison study of regulations, which will allow for the definition of average consumption indicators and average costs for beams and columns.

Keywords: CYPECAD; Beams; Columns; Average Indicators; Average Prices.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE GERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. SOFTWARE CYPECAD	3
2.1. Discretização dos Elementos Estruturais.....	3
2.1.1. Coeficiente de Encastramento dos Pilares na Última Planta.....	6
2.1.2. Coeficiente de Rigidez Axial dos Pilares	6
2.1.3. Coeficiente Redutor de Rigidez à Torção e Redistribuição nas Vigas.....	7
2.1.4. Fator Redutor de Inércia	7
2.1.5. Outros fatores	8
2.2. Ações Consideradas.....	8
2.2.1. Ações Verticais.....	8
2.2.2. Ações Horizontais	9
2.2.3. Combinações de Ações.....	11
2.3. Introdução de Pilares	11
2.4. Introdução de Vigas.....	12
2.5. Introdução de Lajes	13
2.6. Cálculo da Estrutura e Resultados	14
3. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA GERAL DE EDIFÍCIOS	21
3.1. Descrição da Amostra Geral.....	21

3.2.	Análise da Amostra Geral	25
3.1.1.	Ano de Elaboração do Projeto	25
3.1.2.	Normas para Elementos de Betão Armado e para Resistência aos Sismos	26
3.1.3.	Zonas Sísmicas.....	27
3.1.4.	Tipo de Betão e Aço Utilizados	28
3.1.5.	Área Total de Construção	29
4.	COMPARAÇÃO ENTRE A REGULAMENTAÇÃO PARA ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO.....	33
4.1.	Ação Sísmica.....	33
4.2.	Zonamento Sísmico.....	35
4.3.	Classificação dos Solos	40
4.4.	Representação da Ação Sísmica	40
4.5.	Classes de Ductilidade	46
4.6.	Dimensionamento por Capacidade	48
4.7.	Rigidez dos Elementos.....	49
4.8.	Recobrimento das Armaduras	50
5.	ANÁLISE GLOBAL DE DIMENSIONAMENTO DE UMA AMOSTRA DE EDIFÍCIOS	51
5.1.	Aspetos Gerais de Cálculo	51
5.2.	Redefinição da Amostra Geral de Edifícios.....	56
5.3.	Indicadores Médios de Consumo	57
5.3.1.	Resultados	59
5.3.2.	Análise de Resultados	62
5.4.	Custos Médios.....	68
5.4.1.	Resultados	70
5.4.2.	Análise de Resultados	74
6.	ANÁLISE PARAMÉTRICA DOS EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIIS	79

6.1.	Aspetos Gerais.....	79
6.2.	Quantidades de Aço.....	81
6.2.1.	Resultados.....	82
6.2.2.	Análise dos Resultados.....	87
6.3.	Custos Médios.....	90
6.3.1.	Resultados.....	91
6.3.2.	Análise dos Resultados.....	96
7.	CONCLUSÕES.....	103
	REFERÊNCIAS.....	109
	ANEXOS.....	111
	Anexo A – Dados fornecidos pelos utilizadores.....	113
	Anexo B – Vista tridimensional dos modelos da amostra geral de edifícios.....	123
	Anexo C – Quantidades de betão e aço da amostra geral de edifícios.....	133
	Anexo D – Indicadores de consumo da amostra geral de edifícios.....	139
	Anexo E – Custos médios da amostra geral de edifícios.....	149
	Anexo F – Custos médios de aço em vigas e pilares obtidos na análise paramétrica.....	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Discretização de um edifício em vista tridimensional no software CYPECAD.....	4
Figura 2: Discretização de nós gerais e nós associados na interseção das faces das vigas com as faces dos pilares (adaptado pela autora) [1].	4
Figura 3: Entrada de dados da ação sísmica segundo o RSA, no software CYPECAD.	9
Figura 4: Entrada de dados da ação sísmica segundo o EC8, no software CYPECAD.	10
Figura 5: Definição de um pilar no software CYPECAD.	12
Figura 6: Definição de uma viga no software CYPECAD.....	13
Figura 7: Vista tridimensional da modelação no software CYPECAD.....	15
Figura 8: Exemplo da tabela de medições obtida por grupos (à esquerda) e o total da obra (à direita) no software CYPECAD.	16
Figura 9: Exemplo da listagem de medição de superfícies e volumes obtidos por grupos (à esquerda) e o resumo total da obra (à direita) no software CYPECAD.	16
Figura 10: Exemplo da justificação da ação sísmica, segundo o RSA (à esquerda) e o EC8 (à direita) no software CYPECAD.	17
Figura 11: Exemplo de um quadro de pilares obtido no software CYPECAD.	17
Figura 12: Visualização de isovalores e isolinhas no software CYPECAD.....	18
Figura 13: Visualização da deformada da estrutura 2D no software CYPECAD.	19
Figura 14: Visualização da deformada da estrutura 3D no software CYPECAD.	19
Figura 15: Esquematização do número de pisos.	23
Figura 16: Zonamento sísmico em Portugal Continental para ação sísmica afastada (Tipo 1) e próxima (Tipo 2), segundo o Anexo Nacional do EC8 [9].	36
Figura 17: Zonamento sísmico no Arquipélago da Madeira – Ação sísmica Tipo 1, segundo o Anexo Nacional do EC8 [9].	36
Figura 18: Zonamento sísmico no Arquipélago dos Açores – Ação sísmica Tipo 2, segundo o Anexo Nacional do EC8 [9].	37
Figura 19: Zonamento sísmico do território Continental, segundo o Anexo III do RSA [2] (adaptado pela autora).	38

Figura 20: Espectros de resposta da Zona A para (i) Terrenos Tipo I (ii) Tipo II e (iii) Tipo III, segundo o RSA [2].	42
Figura 21: Forma do espectro de resposta elástica, segundo o EC8 [9].	43
Figura 22: Esquematização do processo de cálculo adotado para a comparação de resultados obtidos segundo as regulamentações em análise.	52
Figura 23: Definição da ação sísmica segundo o RSA no software CYPECAD.	54
Figura 24: Definição da ação sísmica de acordo com o EC8 no software CYPECAD.	54
Figura 25: Definição do recobrimento mínimo de armaduras em pilares (à esquerda) e em vigas (à direita) no software CYPECAD.	55
Figura 26: Definição do critério de ductilidade segundo o RSA (à esquerda) e segundo o EC8 (à direita) no software CYPECAD.	55
Figura 27: Definição da ação sísmica para o distrito do Porto no software CYPECAD.	80
Figura 28: Definição da ação sísmica para o distrito de Lisboa no software CYPECAD.	80
Figura 29: Definição do recobrimento em pilares (à esquerda) e em vigas (à direita) no software CYPECAD.	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Categorias de utilização, segundo o RSA [2] e o EC1 [3].	22
Tabela 2: Classe de betão, segundo o REBAP [4] e o EC2 [5].	23
Tabela 3: Tipo de aço, segundo o REBAP [4] e o EC2 [5].	23
Tabela 4: Vista tridimensional de alguns dos edifícios selecionados.	24
Tabela 5: Vista tridimensional de alguns dos edifícios selecionados (continuação da Tabela 4).	25
Tabela 6: Distribuição do número total de obras entre 2003 e 2014.	25
Tabela 7: Projetos de edifícios que utilizaram o EC8 e respetivas zonas sísmicas.	28
Tabela 8: Número de edifícios compreendidos em cada intervalo de área total de construção.	31
Tabela 9: Valores da aceleração máxima de referência previstos no Anexo Nacional do EC8 para ação sísmica afastada e próxima [9].	35
Tabela 10: Delimitação das zonas sísmicas, por concelhos, segundo o RSA [2].	38
Tabela 11: Valores dos coeficientes de sismicidade para as diferentes zonas sísmicas, segundo o RSA [2].	39
Tabela 12: Valores da aceleração máxima de referência previstos no RSA para ação sísmica afastada e próxima [2].	39
Tabela 13: Correspondência entre a classificação dos solos segundo diferentes regulamentos.	40
Tabela 14: Parâmetros de definição do espectro de resposta elástico para a Ação sísmica Tipo 1 [9].	44
Tabela 15: Parâmetros de definição do espectro de resposta elástico para a Ação sísmica Tipo 2 [9].	44
Tabela 16: Classes de importância para os edifícios, segundo o EC8 [9].	45
Tabela 17: Valores do coeficiente de importância em função da classe de importância do edifício para os dois tipos de ação sísmica, segundo o EC8 [9].	45
Tabela 18: Requisitos mínimos relativos aos materiais estruturais, segundo o EC8 [9].	47

Tabela 19: Propriedades das armaduras, segundo o EC2 [5].....	48
Tabela 20: População residente em 2011 por distrito, segundo os Censos 2011 [6].....	53
Tabela 21: Zona sísmica a atribuir por distrito na correspondência entre regulamentos.....	53
Tabela 22: Indicadores médios de consumo de volume de betão (m^3/m^2).	58
Tabela 23: Indicadores médios de consumo de aço (kg/m^2).	58
Tabela 24: Indicadores médios de consumo de aço por m^3 de betão (kg/m^3).	59
Tabela 25: Volume de betão consumido em vigas e pilares.	60
Tabela 26: Quantidade de aço consumido em vigas e pilares.....	60
Tabela 27: Indicadores médios de consumo de volume de betão por m^2 de construção.	60
Tabela 28: Indicadores médios de consumo de aço por m^2 de construção em vigas e pilares. 61	
Tabela 29: Indicadores médios de consumo de aço por m^2 de construção em pórtico.....	61
Tabela 30: Indicadores médios de consumo de aço por m^3 de betão em vigas e pilares (kg/m^3).	61
Tabela 31: Indicadores médios de consumo de aço por m^3 de betão em pórtico (kg/m^3).	62
Tabela 32: Consumos médios globais de materiais.	66
Tabela 33: Indicador médio global de consumo de volume de betão.	66
Tabela 34: Indicador médio global de consumo de aço.	67
Tabela 35: Indicador médio global de consumo de aço por m^3 de betão.....	67
Tabela 36: Custo de cofragem por m^2 de elemento estrutural.	69
Tabela 37: Custo do aço em varões nervurados.....	69
Tabela 38: Custo de betão por classe de resistência.	70
Tabela 39: Custo médio da cofragem em vigas e pilares.....	71
Tabela 40: Custo médio total da cofragem por m^2 de construção.	71
Tabela 41: Custo médio do volume de betão em vigas e pilares.	72
Tabela 42: Custo médio total do volume de betão por m^2 de construção.	72
Tabela 43: Custo médio da quantidade de aço consumida em vigas e pilares.....	72

Tabela 44: Custo médio da quantidade de aço consumida no total por m ² de construção.....	73
Tabela 45: Custo médio de betão armado em vigas e pilares.....	73
Tabela 46: Custo médio de betão armado por m ² de construção.....	73
Tabela 47: Custo médio global de cofragem e de betão.....	76
Tabela 48: Custo médio global de aço.....	77
Tabela 49: Custo médio global total de betão armado.	77
Tabela 50: Quantidade de aço em vigas e pilares para os distritos em análise.	82
Tabela 51: Quantidade de aço em vigas e pilares para os tipos de armaduras em análise.	83
Tabela 52: Quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de betão em análise.	84
Tabela 53: Quantidade de aço em vigas e pilares para as espessuras de recobrimento em análise.	85
Tabela 54: Quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de ductilidade em análise...	86
Tabela 55: Custo de betão armado por distritos.	91
Tabela 56: Custo total de betão armado por m ² de construção por distritos.	92
Tabela 57: Custo total de betão armado por tipos de armaduras.....	92
Tabela 58: Custo total de betão armado por m ² de construção por tipos de armaduras.....	93
Tabela 59: Custo de betão armado em vigas e pilares por classes de betão.....	93
Tabela 60: Custo total de betão armado por m ² de construção por classes de betão.....	94
Tabela 61: Custo do betão armado por espessura de recobrimento.	94
Tabela 62: Custo total de betão armado por m ² de construção por espessura do recobrimento.	95
Tabela 63: Custo de betão armado em vigas e pilares por classes de ductilidade.....	95
Tabela 64: Custo total de betão armado por m ² de construção por classes de ductilidade.	96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Ano de elaboração do projeto dos edifícios analisadas.....	26
Gráfico 2: Regulamentos utilizados no dimensionamento de elementos de betão armado e para resistência aos sismos.	27
Gráfico 3: Zonamento Sísmico, segundo o RSA.....	28
Gráfico 4: Percentagem da classe de resistência de betão utilizada em projeto.....	29
Gráfico 5: Percentagem do tipo de aço utilizado em projeto.	29
Gráfico 6: Tipo de laje predominante na amostra geral de edifícios.....	30
Gráfico 7: Intervalos de área total de construção por número de pisos dos edifícios.	31
Gráfico 8: Média da área total de construção por número de pisos.	32
Gráfico 9: Resumo da área total de construção.	32
Gráfico 10: Comparação regulamentar da quantidade de aço consumido em vigas.	63
Gráfico 11: Comparação regulamentar da quantidade de aço consumido em pilares.....	63
Gráfico 12: Comparação regulamentar dos indicadores médios de consumo de aço por m ² de construção em vigas.....	64
Gráfico 13: Comparação regulamentar dos indicadores médios de consumo de aço por m ² de construção em pilares.	64
Gráfico 14: Comparação regulamentar dos indicadores médios de consumo de aço por m ² de construção em pórticos.	64
Gráfico 15: Comparação regulamentar entre os indicadores médios de consumo de aço por m ³ de betão em vigas.	65
Gráfico 16: Comparação regulamentar entre os indicadores médios de consumo de aço por m ³ de betão em pilares.	65
Gráfico 17: Comparação regulamentar entre os indicadores médios de consumo de por m ³ de betão em pórtico.	66
Gráfico 18: Quantidade global de aço consumida em vigas, pilares e por pórtico.	67
Gráfico 19: Indicador médio global de consumo de aço em vigas, pilares e por pórtico.....	68

Gráfico 20: Indicador médio global de consumo de aço por m ³ de betão em vigas, pilares e por pórtico.	68
Gráfico 21: Comparação regulamentar do custo médio de aço em vigas.	74
Gráfico 22: Comparação regulamentar do custo médio de aço em pilares.	74
Gráfico 23: Comparação regulamentar do custo médio total de aço por m ² de construção. ...	75
Gráfico 24: Comparação regulamentar do custo médio total de betão armado em vigas.	75
Gráfico 25: Comparação regulamentar do custo médio total de betão armado em pilares.	76
Gráfico 26: Comparação regulamentar do custo médio total de betão armado por m ² de construção.	76
Gráfico 27: Comparação regulamentar do custo médio global do aço em vigas e pilares.	77
Gráfico 28: Comparação regulamentar do custo médio global do betão armado em vigas e pilares.	78
Gráfico 29: Comparação regulamentar do custo médio global total de aço e de betão armado por m ² de construção.	78
Gráfico 30: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para os distritos em análise.	87
Gráfico 31: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para os tipos de armadura em análise.	88
Gráfico 32: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de betão em análise.	89
Gráfico 33: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para recobrimentos de 2,0 e 3,0 cm.	89
Gráfico 34: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de ductilidade em análise.	90
Gráfico 35: Comparação do custo de betão armado para os distritos em análise.	97
Gráfico 36: Comparação do custo total de betão armado por m ² de construção para os distritos em análise.	97
Gráfico 37: Comparação do custo de betão armado para os tipos de armaduras em análise. ...	98

Gráfico 38: Comparação do custo total de betão armado por m ² de construção para os tipos de armaduras em análise.....	98
Gráfico 39: Comparação do custo de betão armado em vigas e pilares para as classes de betão em análise.	99
Gráfico 40: Comparação do custo total de betão armado por m ² de construção para as classes de betão em análise.....	99
Gráfico 41: Comparação do custo de betão armado por espessura de recobrimento.....	100
Gráfico 42: Comparação do custo total de betão armado por m ² de construção por espessura de recobrimento.....	100
Gráfico 43: Comparação do custo de betão armado em vigas e pilares para as classes de ductilidade em análise.	101
Gráfico 44: Comparação do custo total de betão armado por m ² de construção para as classes de ductilidade em análise.....	101
Gráfico 45: Comparação do custo médio total sem e com o custo de lajes e fundações.	104
Gráfico 46: Comparação do custo médio total por m ² de com e sem o custo de lajes e fundações.	105
Gráfico 47: Comparação da quantidade total de armadura necessária para as classes de ductilidade baixa e média por número de pisos.....	106
Gráfico 48: Comparação da quantidade média total de armadura necessária para as classes de ductilidade baixa e média.	106
Gráfico 49: Comparação do custo total da superestrutura porticada para as classes de ductilidade baixa e média por número de pisos.	107
Gráfico 50: Comparação do custo médio total da superestrutura porticada para as classes de ductilidade baixa e média.	107

Capítulo 1

Introdução

A sociedade atual atribui um papel muito importante ao bom funcionamento de um edifício face à atuação de diversas ações sobre a sua estrutura. Por isso, existe uma preocupação crescente com a importância da qualidade de projeto desde a sua conceção, ao projeto detalhado e à sua execução, e que a mesma deve ser assegurada pelo projetista.

Nas últimas décadas têm-se assistido à contínua evolução dos programas de cálculo automático, aos quais os projetistas recorrem usualmente devido às facilidades que estes oferecem a nível do dimensionamento dos vários componentes da estrutura e à maior rentabilidade que proporcionam quando corretamente utilizados, ao mesmo tempo que permitem obter uma resposta da estrutura mais adequada e previsível. No entanto, a qualidade do projeto estrutural não depende só do tipo de exigências feitas pelos utilizadores, mas também dos regulamentos impostos.

Até recentemente, um projeto de estruturas de betão armado tem sido elaborado segundo a regulamentação nacional que data a década de 80 do século passado, nomeadamente, o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado e o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes. A nível europeu, tendo em vista a uniformização de critérios de análise, dimensionamento e projeto, foram desenvolvidos os Eurocódigos Estruturais, que são atualmente utilizados em Portugal por quase todas as instituições de ensino superior, mas ainda sem formalização na legislação. Importa assim conhecer como reagiu o mercado de projeto à nova regulamentação europeia e quais são as suas consequências no custo da construção.

Os Eurocódigos trazem diferenças na conceção, análise e dimensionamento de estruturas de edifícios que complementam a regulamentação em vigor. Isto, aliado ao facto de Portugal se encontrar numa zona sísmica ativa, faz com que a conceção de estruturas resistentes a sismos seja mais exigente, através da introdução de novos parâmetros e metodologias mais rigorosas, que o zonamento sísmico possa refletir no conhecimento atual.

O presente documento expõe o trabalho desenvolvido no decorrer de um estágio curricular, que teve lugar na empresa Top Informática, permitindo realizar a dissertação em ambiente empresarial. O estágio foi dedicado à análise de projetos do arquivo da empresa para a seleção e caracterização da amostra geral de edifícios em estudo e avaliação da influência da regulamentação no projeto estrutural. Esta avaliação focou-se no projeto de edifícios de cariz habitacional, tendo-se concentrado na análise da modelação e nas características estruturais adotados. Posto isto, foi possível obter os dados necessários para a definição de indicadores médios de consumo de materiais em vigas e pilares, bem como, os respetivos custos médios.

Este documento encontra-se organizado em sete capítulos, sendo o presente capítulo uma breve introdução ao tema de estudo da dissertação.

No Capítulo 2 apresentam-se aspetos relacionados com o software CYPECAD, nomeadamente, uma descrição do modo como os modelos tridimensionais são discretizados e a referência aos parâmetros que mais influenciam o comportamento estrutural e o dimensionamento dos elementos estruturais.

No Capítulo 3 é caracterizada a amostra geral de edifícios selecionados do arquivo de obras da empresa Top Informática. Neste capítulo pretende-se revelar algumas informações recolhidas, relativamente aos dados gerais de construção fornecidos pelos utilizadores, que serão utilizadas para caracterizar a variabilidade da amostra de um modo geral.

No Capítulo 4 é realizada uma abordagem teórica e comparativa das principais diferenças encontradas entre as regulamentações em estudo, como por exemplo na definição da ação sísmica e na ductilidade das estruturas.

No Capítulo 5 é descrito o processo de estudo segundo os métodos prescritos nas regulamentações em estudo, para a obtenção dos indicadores médios de consumo em vigas e pilares, realizando-se uma análise comparativa dos resultados obtidos em termos de quantidades e os respetivos custos médios.

No capítulo 6 desenvolve-se uma análise paramétrica sobre a influência de variáveis de projeto de acordo com a nova regulamentação europeia na quantidade de armadura e no custo médio total da amostra em análise.

Por fim, o Capítulo 7 é inteiramente dedicado a considerações finais onde se expõem as principais conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Software CYPECAD

O programa CYPECAD é um software vocacionado para o cálculo e dimensionamento de estruturas de betão armado e metálicas, sob o efeito de ações horizontais e verticais, fornecendo os resultados de cálculo, bem como, os desenhos com a geometria e armaduras para todos os elementos estruturais. Recorrendo a este software é possível modelar, analisar e dimensionar lajes, vigas, pilares e paredes em betão armado e muros, com ou sem impulsos horizontais, em betão armado ou alvenaria.

A análise dos elementos estruturais é realizada através do cálculo de modelos tridimensionais, para os quais se estabelece a compatibilidade de deformações em todos os nós, cada um com seis graus de liberdade, com os deslocamentos do piso. O software permite ainda efetuar a análise estática ou análise modal espectral, com base em espectros de resposta, e assume um comportamento linear dos materiais para a obtenção de deslocamentos e esforços.

2.1. Discretização dos Elementos Estruturais

O modelo tridimensional da estrutura é analisado como um conjunto espacial único e discretiza-se automaticamente em elementos tipo barra, grelha e elementos finitos triangulares através do Método dos Elementos Finitos (Figura 1). Nos eixos dos pilares e na intersecção dos elementos das lajes com os eixos das vigas é criado um conjunto de nós de dimensão finita, com um nó geral e com vários nós associados (formam-se nas interseções dos elementos das lajes com a face das vigas e dos pilares e na intersecção dos eixos das vigas com as faces dos pilares), que estão relacionados entre si pela compatibilidade de deformações, e assumem uma deformação plana e rigidez infinita (Figura 2).

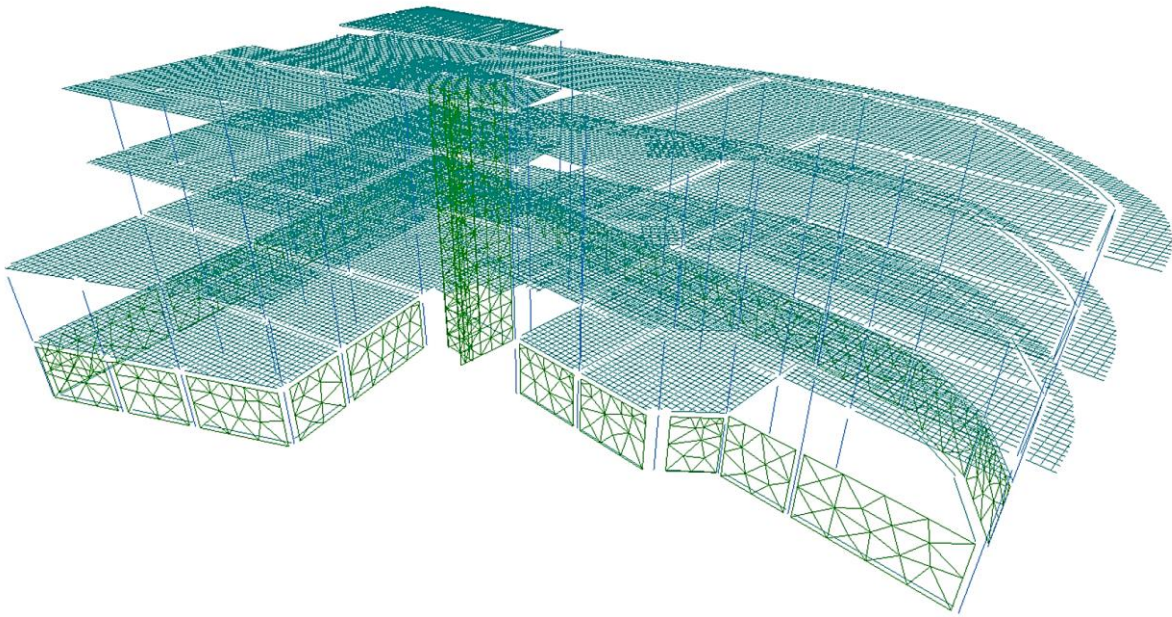


Figura 1: Discretização de um edifício em vista tridimensional no software CYPECAD.

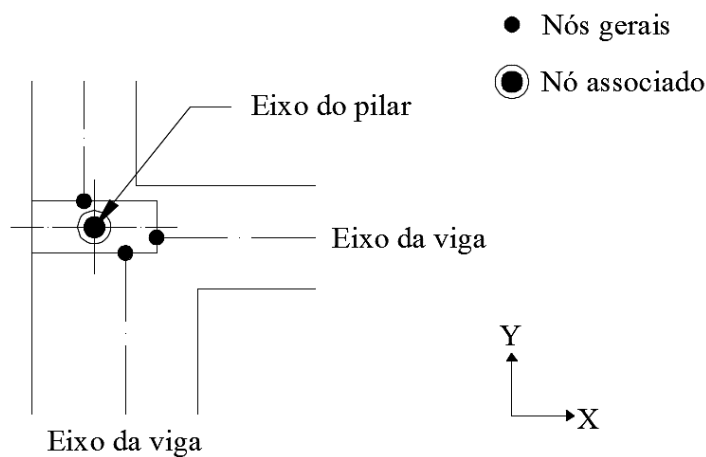


Figura 2: Discretização de nós gerais e nós associados na intersecção das faces das vigas com as faces dos pilares (adaptado pela autora) [1].

Os pilares são considerados como elementos finitos lineares de barras verticais entre cada piso com um nó no arranque, num elemento, sapata ou ensoleiramento, e na intersecção de cada piso, numa laje ou viga, sendo o seu eixo o da secção transversal e o comprimento a altura ou a distância livre à face de outros elementos.

As vigas são discretizadas em elementos lineares tipo barra, onde cada tramo é dividido em 14 subtramos, com nós na intersecção com outros elementos. O eixo das barras é coincidente com o plano médio que passa pelo centro da alma vertical e a altura do seu centro de gravidade. Se a viga for lançada entre dois pilares, a mesma é constituída por várias barras consecutivas, cujos nós são as intersecções com as barras que representam a laje.

As lajes são discretizadas por barras ou malhas de elementos tipo barra, dependendo da sua tipologia [1]:

- As lajes de vigotas discretizam-se como barras, coincidentes com o eixo de cada vigota, que se definem nas aberturas entre vigas e que criam nós nas intersecções dos eixos correspondentes;
- As lajes alveoladas e as lajes mistas são lajes unidirecionais discretizadas por barras afastadas de 40 cm entre si;
- As lajes maciças são discretizadas em malhas de elementos tipo de barra de tamanho máximo de 25 cm e é realizada uma condensação estática de todos os graus de liberdade;
- As lajes fungiformes aligeiradas são discretizadas em malhas de elementos tipo barra cujo tamanho é um terço da dimensão entre eixos, definida entre nervuras da zona aligeirada;
- As lajes de fundação discretizam-se em malhas de elementos tipo barra de 25 cm de dimensão, com molas nos nós aos quais é atribuída uma constante definida a partir do coeficiente de Winkler.

Existem ainda paredes ou muros, que são elementos verticais de secção transversal variável constituídos por retângulos múltiplos entre cada piso e são modelados por elementos finitos do tipo casca espessa. Os elementos finitos são triangulares de seis nós, localizados nos vértices e nos pontos médios dos lados, com seis graus de liberdade cada um. As vigas e as lajes encontram-se com este elemento em qualquer posição e direção, através de uma viga, que tem uma altura constante de 25 cm.

A fundação pode ser fixa, representada por sapatas ou maciços de encabeçamento de estacas, ou flutuante, representada por vigas e lajes de fundação, e integra a matriz global de rigidez da estrutura. As vigas de fundação são vigas flutuantes apoiadas sobre solo elástico, discretizadas em nós e barras, sendo que aos nós é atribuída a constante de mola definida a partir do coeficiente de Winkler. Os extremos destes elementos são articulados e ligam ao eixo que passa pelo centro do elemento transversal de ligação que faz o travamento (viga lintel) ou encastrados no bordo do elemento que equilibra (viga de equilíbrio). Assim, as condições de ligação das extremidades são alteráveis pelo utilizador, sendo possível desativar o equilíbrio das vigas de equilíbrio manualmente [1].

Existem vários parâmetros, detalhados de seguida, que influenciam o comportamento estrutural e o dimensionamento dos elementos e que são pré-definidos pelo software CYPECAD, mas podem ser especificados pelo utilizador, com base na sua experiência, nomeadamente:

- O coeficiente de encastramento dos pilares na última planta;
- O coeficiente de rigidez axial dos pilares;
- O coeficiente redutor de rigidez à torção e o coeficiente de redistribuição de momentos negativos nas vigas;
- O fator redutor de inércia.

2.1.1. Coeficiente de Encastramento dos Pilares na Última Planta

O coeficiente de encastramento na última planta diz respeito ao último tramo de um pilar, submetido a uma situação de momento elevado e de esforço axial reduzido, tornando-se necessária uma elevada quantidade de armadura a amarrar na laje. Desta forma, as vigas ou a laje podem fendilhar excessivamente, por estarem insuficientemente amarradas aos pilares. Ao assumir um nó não totalmente rígido, estes elementos terão armadura de momentos positivos superior à prevista, reduzindo também a armadura nos pilares do tramo superior.

O coeficiente de encastramento na extremidade do pilar no último tramo pode variar entre 1, encastramento perfeito, e 0, encastramento articulado, permitindo uma interpolação linear na rigidez do pilar. O software CYPECAD propõe a redução do encastramento na cabeça do último tramo através da consideração de um coeficiente $\alpha = 0,3$, que conduz a menores quantidades de armadura e de comprimentos de amarração necessários.

2.1.2. Coeficiente de Rigidez Axial dos Pilares

O coeficiente de rigidez axial deve ser ponderado no caso de um edifício com vários pisos, onde nas vigas sobre o pilar central nos pisos superiores existem momentos negativos reduzidos comparativamente os dos pisos inferiores, devido a maiores tensões normais que atuam no pilar central. Esta situação origina um deslocamento vertical relativo entre os pilares centrais e os pilares extremos. Logo, não é aconselhável considerar que elementos como os pilares não encurtam, sendo necessário aprofundar a análise das diversas fases de construção para se modelar corretamente o comportamento real da estrutura.

Como alternativa, na análise de um edifício sujeito a casos de carga verticais, o software CYPECAD permite definir um parâmetro de rigidez axial dos pilares para que os deslocamentos verticais relativos dos pilares sejam mais próximos da realidade. Naturalmente, a redução dos deslocamentos verticais relativos dos pilares levam a momentos fletores nas vigas também mais realistas.

Na análise da estrutura sob ações de cargas verticais devido ao peso próprio, o software adota um modelo com a rigidez axial dos pilares majorada 2 vezes a real. Na análise de casos de carga horizontais adota um modelo com a inércia real dos pilares. Os resultados para as combinações de casos de carga verticais com os casos de carga laterais são obtidos somando os resultados das análises realizadas em diferentes modelos.

2.1.3. Coeficiente Redutor de Rigidez à Torção e Redistribuição nas Vigas

O coeficiente redutor de rigidez à torção é considerado no caso de uma secção de betão armado, onde a rigidez à torção real é inferior à rigidez teórica devido ao fenómeno de fendilhação que ocorre nos elementos de uma estrutura. Consequentemente, as vigas perdem a maior parte da rigidez à torção, sendo necessário afetar as vigas com um coeficiente redutor de rigidez à torção.

O software CYPECAD recomenda que a rigidez teórica seja multiplicada por coeficiente redutor para que não ultrapasse os 20% da rigidez elástica. No caso de vigas retangulares, a redução do valor da rigidez à torção a ser utilizado no cálculo do pórtico, multiplicado a secção bruta por um coeficiente redutor compreendido entre 60 a 90%.

O coeficiente de redistribuição de momentos negativos não influencia o cálculo dinâmico da estrutura, mas permite a otimização das armaduras em estados limite últimos. O software CYPECAD sugere uma redistribuição de 15% e 25% em vigas e lajes, respetivamente, que equivale a igualar aproximadamente os momentos negativos e positivos nas vigas.

2.1.4. Fator Redutor de Inércia

O fator redutor de inércia é especificado de acordo com determinadas normas sísmicas, e o software CYPECAD define os fatores redutores de inércia dos elementos de betão automaticamente, mas também permite que o mesmo possa ser modificado pelo utilizador independentemente da norma sísmica utilizada. Assim, para a análise linear elástica segundo a norma sísmica selecionada existe uma série de fatores de redução de inércia, para cada elemento

vertical de betão, sendo que a redução da inércia dos elementos altera significativamente os períodos das estrutura e os respetivos esforços para a ação sísmica.

2.1.5. Outros fatores

Existem ainda outros fatores que permitem condicionar a resposta estrutural, no caso em particular de vigas e lajes, por exemplo:

- É possível ativar a verificação da fendilhação. Caso não se verifique o valor do limite de abertura de fendas, as armaduras são alteradas e é emitida uma mensagem de aviso ao utilizador nos erros de vigas;
- É possível definir a quantidade mínima de armadura a colocar em lajes de vigotas, alveoladas e mistas;
- É possível definir os momentos mínimos para os quais será dimensionada armadura em vigas e as lajes;
- É possível definir limites de flecha instantânea e total, a tempo infinito;
- É possível definir as armaduras longitudinais de vigas, fixando-se o comprimento dos varões adicionais para os momentos positivos em função do vão;
- É possível ativar a dispensa da armadura à torção em vigas.

2.2. Ações Consideradas

2.2.1. Ações Verticais

O software permite a introdução de ações verticais, nomeadamente, ações permanentes e variáveis. As ações permanentes englobam o peso próprio dos elementos de betão armado, os revestimentos e paredes divisórias (cargas distribuídas no piso) e paredes exteriores (cargas lineares). As ações variáveis (sobrecarga) dependem do tipo de utilização do edifício. É também possível acrescentar cargas complementares às supracitadas, podendo ser cargas pontuais, lineares e superficiais e de diferente natureza, bem como, definir os seus fatores de combinação para todos os estados limites.

2.2.2. Ações Horizontais

O software tem em consideração a ação do vento e a ação sísmica. Para a ação do vento, considera-se que esta é uma carga horizontal aplicada no centro de massa de cada piso e é calculada de acordo com a norma selecionada. As forças horizontais podem ser geradas automaticamente em cada piso numa só direção, em duas direções ortogonais ou em ambos os sentidos e pode-se definir o coeficiente de forma para cada direção e sentido de atuação do vento [1]. Também é possível efetuar o cálculo do vento de forma automática.

No que concerne à ação sísmica, o software permite realizar uma análise dinâmica, incluindo ou não o efeito dos elementos construtivos não estruturais (paredes de fachada e divisórias os edifícios). Quando se realiza um cálculo sísmico, o software tem em conta critérios de projeto de várias normas ou regulamentos em vigor, consoante o país desejado. No caso em particular de Portugal, encontram-se disponíveis o “Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes” (RSA) e o “Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1” (EC8), como se pode observar nas Figuras 3 e 4, respetivamente. Em todas as opções é possível considerar os efeitos de segunda ordem.

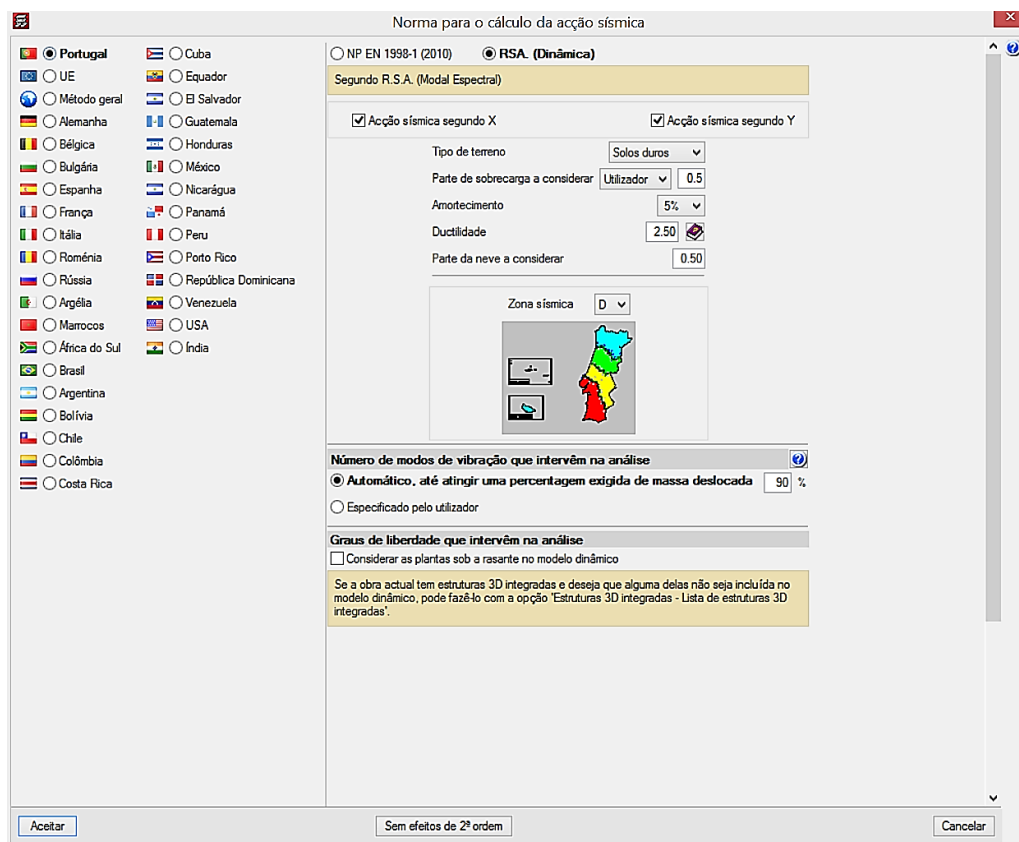


Figura 3: Entrada de dados da ação sísmica segundo o RSA, no software CYPECAD.

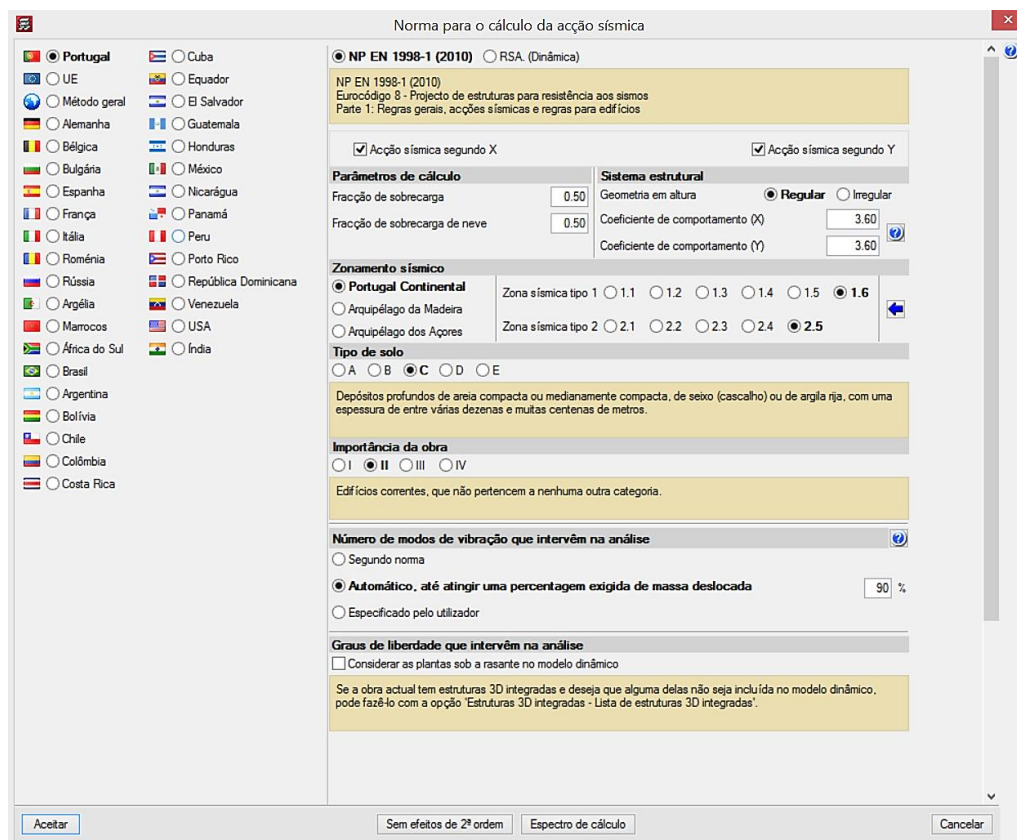


Figura 4: Entrada de dados da ação sísmica segundo o EC8, no software CYPECAD.

Existem também a possibilidade de optar pela análise da ação sísmica de acordo com um método geral, que permite a opção entre dois métodos de cálculo, o cálculo estático ou o cálculo dinâmico, sendo necessário introduzir o espectro de dimensionamento. Optando-se o cálculo estático, a ação do sismo é introduzida como um sistema de forças estáticas equivalentes às cargas dinâmicas, gerando-se forças horizontais, segundo as direções ortogonais X e/ou Y, aplicadas ao nível de cada piso, no seu centro de massa. Caso se opte pelo cálculo dinâmico, é necessário definir a aceleração de cálculo em relação à aceleração da gravidade, a ductilidade da estrutura, o número de modos de vibração a calcular, o coeficiente quase-permanente de sobrecarga e o espectro de acelerações de cálculo [1].

Note-se que o software permite a especificação do número de modos de vibração e dos graus de liberdade dinâmicos que intervêm na análise, contudo, é possível que este seja definido automaticamente, até atingir uma percentagem de massa deslocada que seja representativa do sistema em questão.

A partir da matriz de rigidez e de massa de cada elemento da estrutura, o programa determina as matrizes de rigidez de massa completas e reduzidas (apenas com três graus de liberdade dinâmicos por piso: duas translações no plano horizontal e a correspondente rotação desse

plano). Seguidamente, processa-se a decomposição modal, da qual resultam valores e vetores próprios (modos de vibração), a partir dos quais se obtêm os coeficientes de participação para cada direção, incluindo a rotação. Com base no período de vibração e dos espectros obtidos, bem como, dos parâmetros de ductilidade e amortecimento, obtêm-se as acelerações de dimensionamento para cada modo de vibração. Assim, para cada grau de liberdade dinâmico, obtêm-se um valor de deslocamento máximo para cada modo de vibração. Estes são os deslocamentos impostos à estrutura, que requer uma nova avaliação de esforços máximos. A estrutura é recalculada para a obtenção da final distribuição de deslocamentos e esforços sobre toda a estrutura e para cada modo de vibração e, através da sobreposição modal, são obtidos os valores máximos de esforços e deslocamentos.

2.2.3. Combinações de Ações

O software CYPECAD estabelece combinações calculadas para os diferentes Estados Limites ou segundo as normas selecionadas, para as quais são estabelecidos coeficientes de combinação de acordo com o material, as ações sobre a estrutura e a origem e o tipo de utilização da estrutura. Depois de selecionado o método de cálculo, efetuam-se as verificações aos Estados Limites.

2.3. Introdução de Pilares

No separador “Entrada de Pilares” insere-se a posição de cada planta, os agrupamentos de pisos e a sua identificação. Indica-se qual é a altura entre pisos (definida como a diferença entre os níveis superiores das lajes) e a categoria de utilização, bem como, a sobrecarga, os revestimentos e as paredes divisórias. Nos dados gerais de pilares, estabelece-se o grupo inicial e final de cada pilar, o tipo, a secção em cada piso e o ângulo de rotação. O software admite por defeito, podendo modificar-se, que os coeficientes de encastramento no topo e base, bem como os coeficientes de encurvadura, em cada piso têm o valor de 1. Se existir, é possível introduzir o desnível e a altura do apoio (Figura 5).

Existe ainda a possibilidade de introduzir cargas ao longo e na cabeça dos pilares. Para as cargas horizontais é definida a direção em eixos locais ou gerais, o tipo de carga (pontual ou uniforme), a origem da ação e o ponto de aplicação. As cargas verticais são introduzidas na cabeça do pilar selecionado, referidas aos eixos globais do pilar. É possível limitar o valor da esbelteza e definir

percentagens mínimas e máximas de armadura. No que concerne ao dimensionamento dos pilares de betão armado, este realiza-se em flexão composta desviada e de acordo com a norma seleccionada, efetua a verificação da encurvadura.

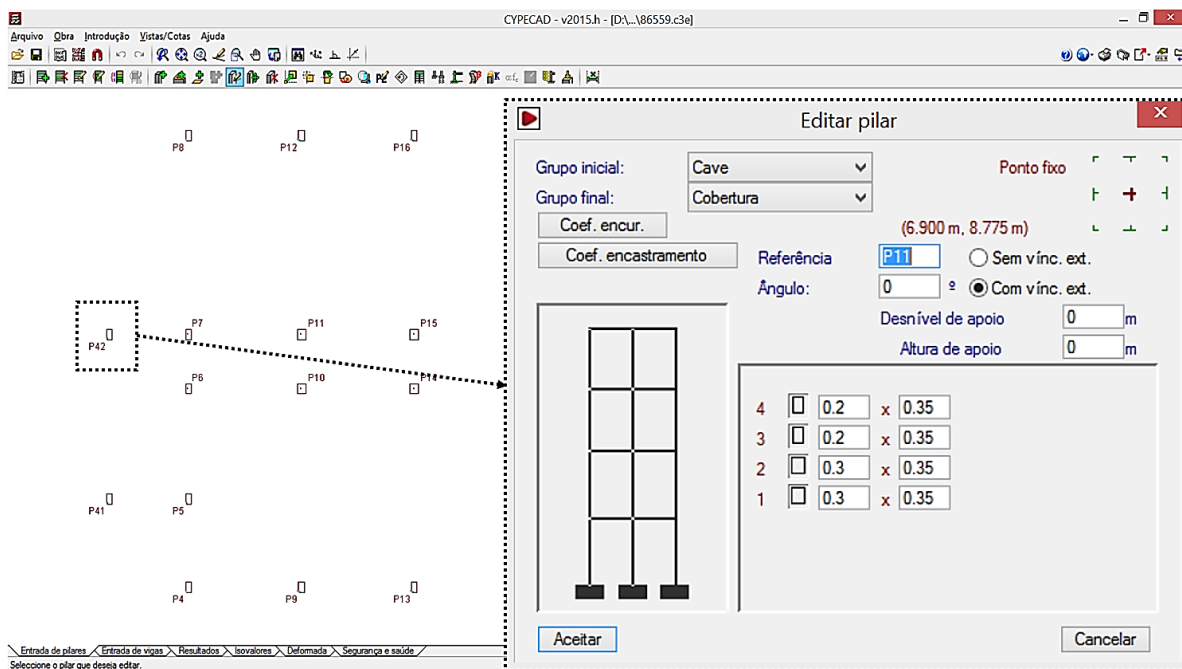


Figura 5: Definição de um pilar no software CYPECAD.

2.4. Introdução de Vigas

No separador “Entrada de vigas” são introduzidas vigas/muros e as lajes, entre outras opções que se encontram disponíveis. Na introdução de uma viga é seleccionada a tipologia e as dimensões da mesma (Figura 6). No dimensionamento das secções das vigas de betão armado, de acordo com a norma seleccionada, o software utiliza o diagrama parábola-retângulo ou o diagrama retangular de tensões-extensões para o betão, e o diagrama elástico-plástico de tensões-extensões para o aço.

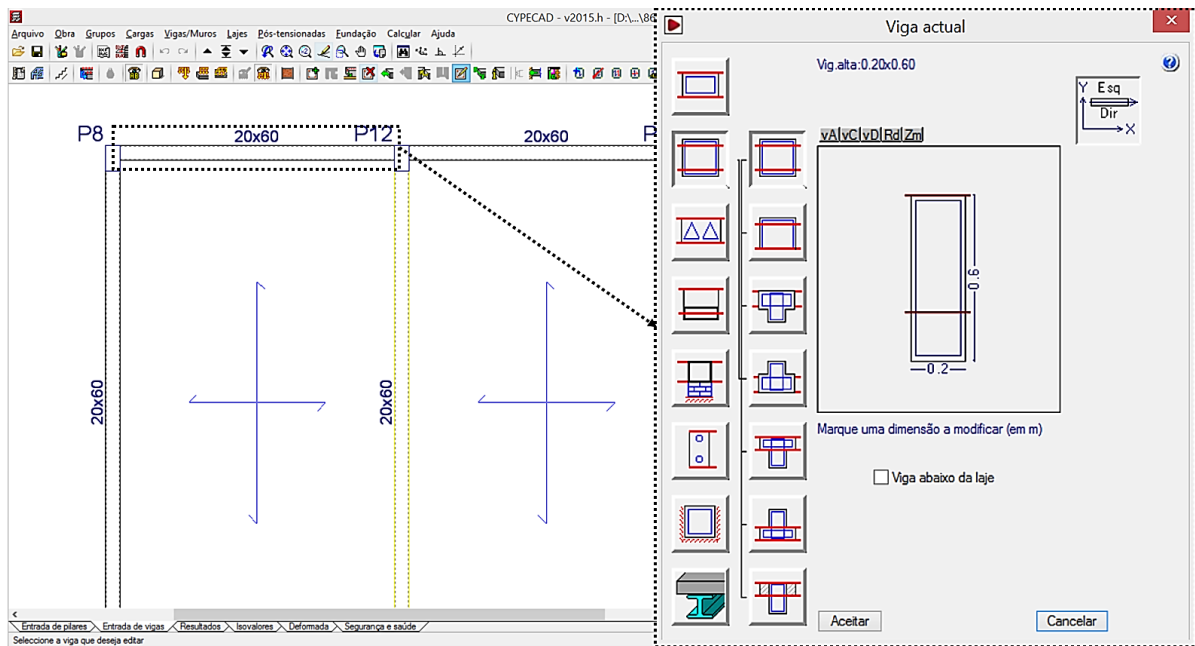


Figura 6: Definição de uma viga no software CYPECAD.

2.5. Introdução de Lajes

No caso da introdução de uma laje, existem vários tipos de lajes disponíveis: lajes de vigotas, alveoladas, mistas, fungiformes, maciças e de fundação, podendo seleccionar-se uma delas ou conjugar mais de um tipo no mesmo edifício.

As lajes de vigotas são definidas para efeitos de análise estrutural de acordo com o tipo de laje de vigota de betão selecionado, a partir de um catálogo. É possível estabelecer a entrada na viga (a parte da vigota que se introduz na viga só para efeitos de medição e desenho), o tipo de vigota (para introduzir todas as vigotas do piso como simples, dupla ou tripla ou alterar o número de vigotas introduzidas na zona do piso) e a direção das vigotas no piso (paralela ou perpendicularmente a uma viga, ou ainda passando por dois pontos).

As lajes alveoladas precisam de ser criadas de raiz, pois é necessário definir os seus dados geométricos e características mecânicas. O processo de cálculo implica o conhecimento do momento máximo resistente, o momento de fendilhação, a rigidez total e fendilhada, bem como, o esforço transversal último resistido, para caracterização da flexão negativa e positiva da laje, seguindo-se uma análise através das várias combinações até serem verificadas as condições de segurança [1].

As lajes mistas são constituídas por uma laje de betão armado e uma chapa nervurada, que serve de cofragem do betão e pode ser definida como cofragem perdida ou como chapa colaborante. No caso de cofragem perdida, é possível modificar ou definir novas características de chapas nervuradas introduzindo os novos dados de acordo com os catálogos de fabricante. O mesmo se aplica a chapa colaborante [1]. A altura total deverá ser a altura da chapa mais a espessura da camada de compressão de betão.

As lajes fungiformes aligeiradas são constituídas por panos com duas zonas distintas, uma zona maciça junto ao pilar e uma zona aligeirada, que se define pelo tipo de molde (perdido ou recuperável). As zonas maciças podem gerar-se automaticamente e as suas dimensões são ajustáveis. Estas lajes também podem ser totalmente maciças.

Nas lajes maciças define-se a altura da laje e as direções da armadura, superior e inferior. O software permite que nas zonas de maior concentração de esforços já conhecidos se introduza uma armadura de reforço, possibilitando que o resto da armadura seja mais uniforme.

2.6. Cálculo da Estrutura e Resultados

Após a introdução de dados e a seleção das normas ou regulamentos em vigor é possível observar a modelação tridimensional da estrutura (Figura 7) que será analisada ao nível do efeito das solicitações definidas, através de um processo de cálculo tridimensional, por métodos matriciais de rigidez, sendo por isso um processo de cálculo com diferentes fases, onde são verificados todos os elementos que definem a estrutura.

Numa primeira fase, é gerada a geometria dos elementos e a respetiva matriz de rigidez da estrutura. Na segunda fase, a matriz de rigidez é invertida e, se existir algum mecanismo, é nesta fase que este é detetado. Na terceira e quarta fase, obtêm-se os deslocamentos e envolventes para todas as combinações definidas, respetivamente. Na quinta e última fase, é dimensionada a armadura de todos os elementos estruturais. Concluídas estas fases, o software emite um relatório final de cálculo, no qual se detalham os erros encontrados durante o processo de cálculo, e é possível consultar os resultados do dimensionamento efetuado para os diferentes elementos, através da consulta de menus específicos de várias listagens e/ou a geração dos desenhos da obra em análise.

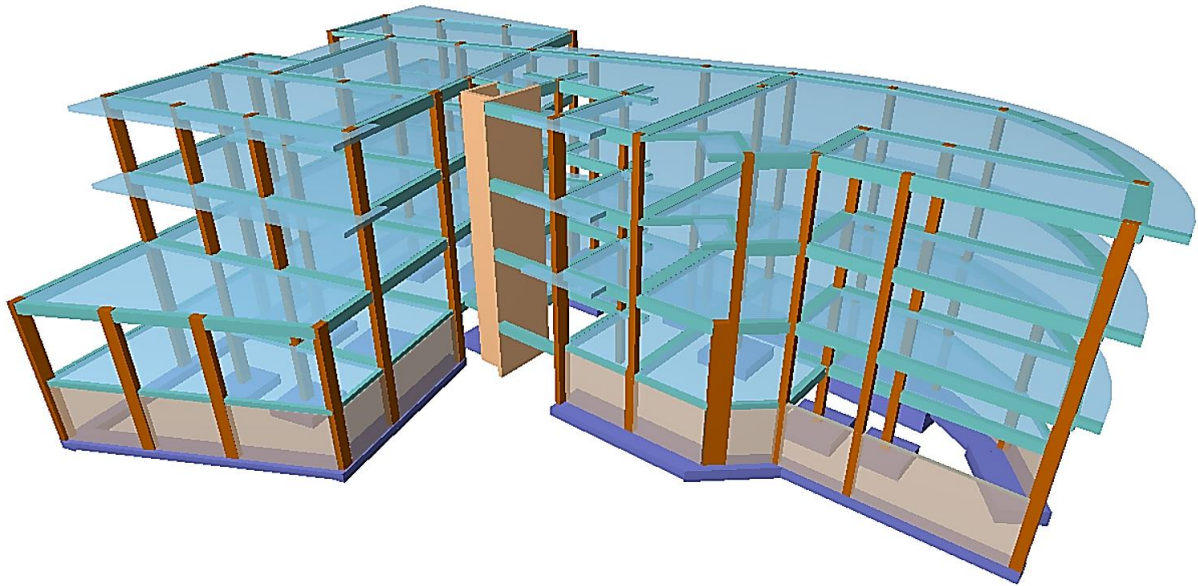


Figura 7: Vista tridimensional da modelação no software CYPECAD.

A título de exemplo, é possível consultar listagens de armaduras, de quantidades de obra (Figura 8), medição de superfícies e volumes (Figura 9), justificação da ação sísmica (Figura 10), entre outros. Os desenhos de pormenorização também são abrangentes: o software permite consultar, por exemplo, o quadro de pilares (Figura 11), planta de elementos estruturais e de fundação desenhos de pormenorização para os diversos tipos de elementos estruturais, entre outros.

Os resultados referentes à quantidade de armaduras são obtidos consoante o tipo de elemento que se pretende analisar e podem ser em forma de lista e/ou em peças desenhadas. Existem funcionalidades que permitem ao utilizador conhecer de forma gráfica a distribuição de armaduras longitudinais e transversais. Para além disso, é possível redefinir os diâmetros máximos e mínimos dos varões a utilizar nas armaduras e definir um maior ou menor espaçamento entre os varões longitudinais. Posto isto, o software realiza um novo cálculo para verificar se as modificações cumprem os requisitos impostos pelas normas seleccionadas anteriormente para a comprovação final da secção.

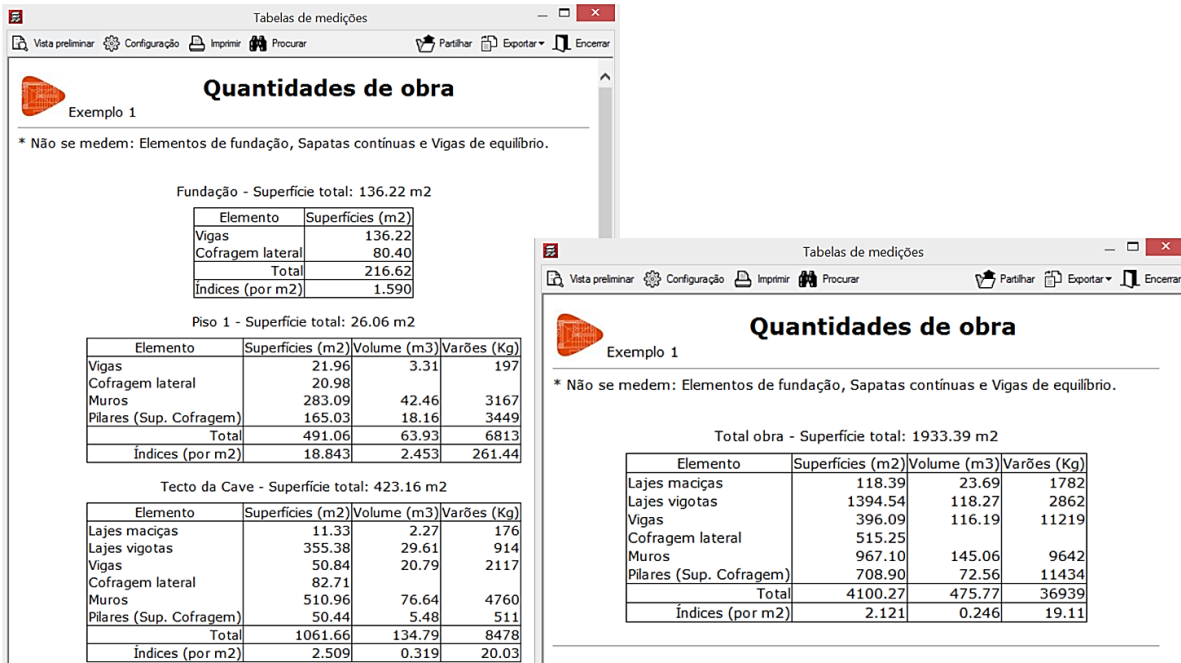


Figura 8: Exemplo da tabela de medições obtida por grupos (à esquerda) e o total da obra (à direita) no software CYPECAD.

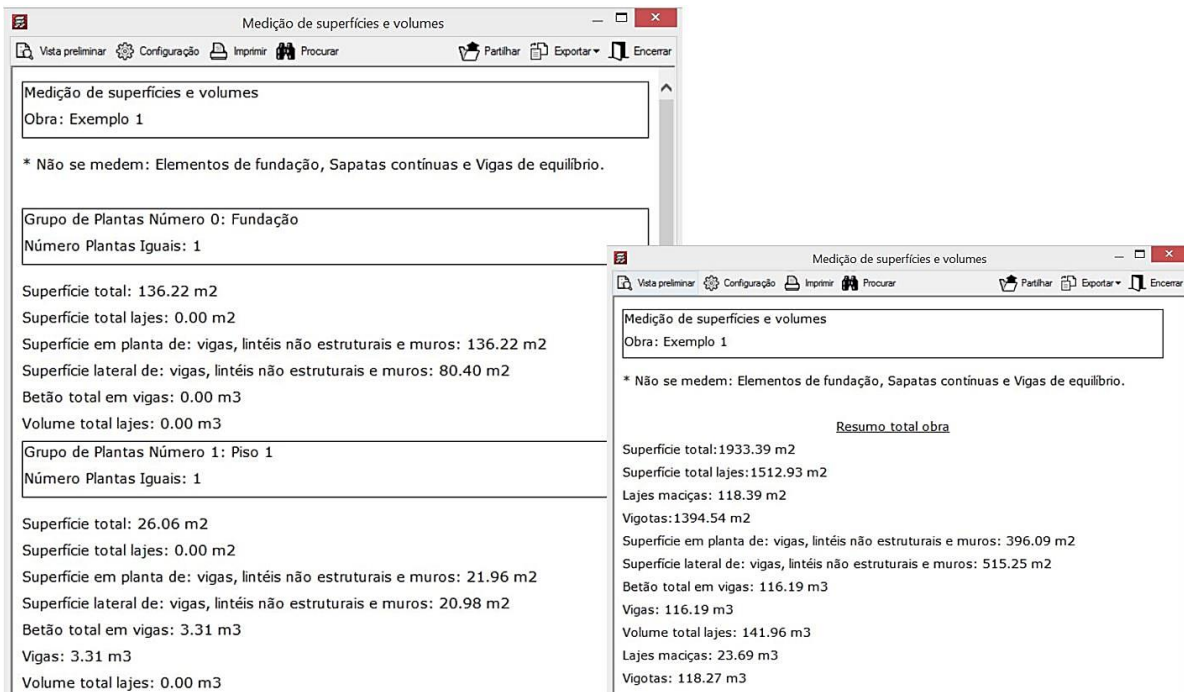


Figura 9: Exemplo da listagem de medição de superfícies e volumes obtidos por grupos (à esquerda) e o resumo total da obra (à direita) no software CYPECAD.

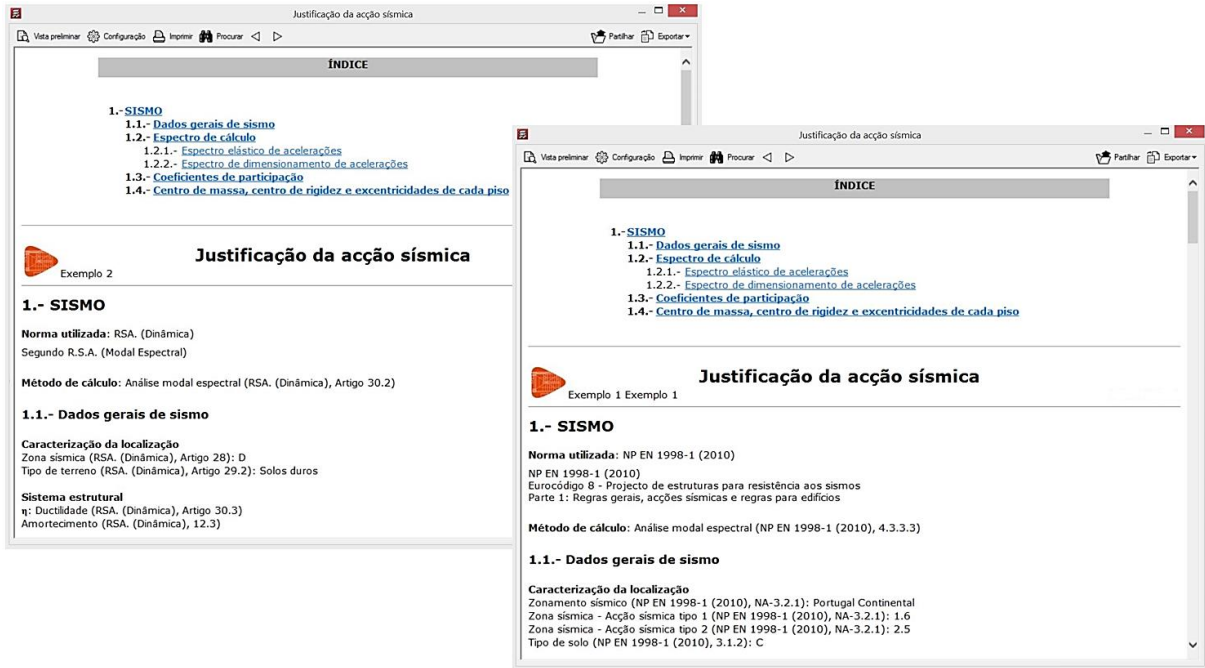


Figura 10: Exemplo da justificação da ação sísmica, segundo o RSA (à esquerda) e o EC8 (à direita) no software CYPECAD.

P9	P10=P13=P16	P11	P12	P14	P15	P19	P20	P22=P24=P32 P33=P36=P44 P45=P46

Figura 11: Exemplo de um quadro de pilares obtido no software CYPECAD.

Podem consultar-se resultados de armaduras de vigas de piso e de fundação, considerando o número de varões, o diâmetro, os comprimentos e os estribos, tanto para a armadura longitudinal como para a armadura transversal. Nesta fase as armaduras ainda são editáveis e é possível modificar a secção das vigas obtendo-se os novos esforços e respetivas armaduras. Ao nível das armaduras de pilares, é possível modificar as suas dimensões e armaduras, verificando se essas alterações cumprem as especificações regulamentares. Caso estas não sejam cumpridas, a armadura não é dimensionada e o software emite um aviso (por exemplo, para aumentar a secção de betão).

No que se refere aos resultados de lajes, podem consultar-se as armaduras obtidas nas direções longitudinal e transversal, superior e inferior e, se existir, da armadura base, sendo também permitida a sua modificação em número, diâmetro, afastamento e comprimento. Em paredes pode-se consultar e modificar a armadura, ao critério do utilizador, assim como as espessuras das paredes, com possível redimensionamento.

O software permite também a visualização das deformações obtidas numa planta, através de isovalores e isolinhas de deslocamentos, representados por diagramas de cores (Figura 12), bem como, observar a deformada da estrutura para qualquer nó da malha de discretização (Figuras 13 e 14).

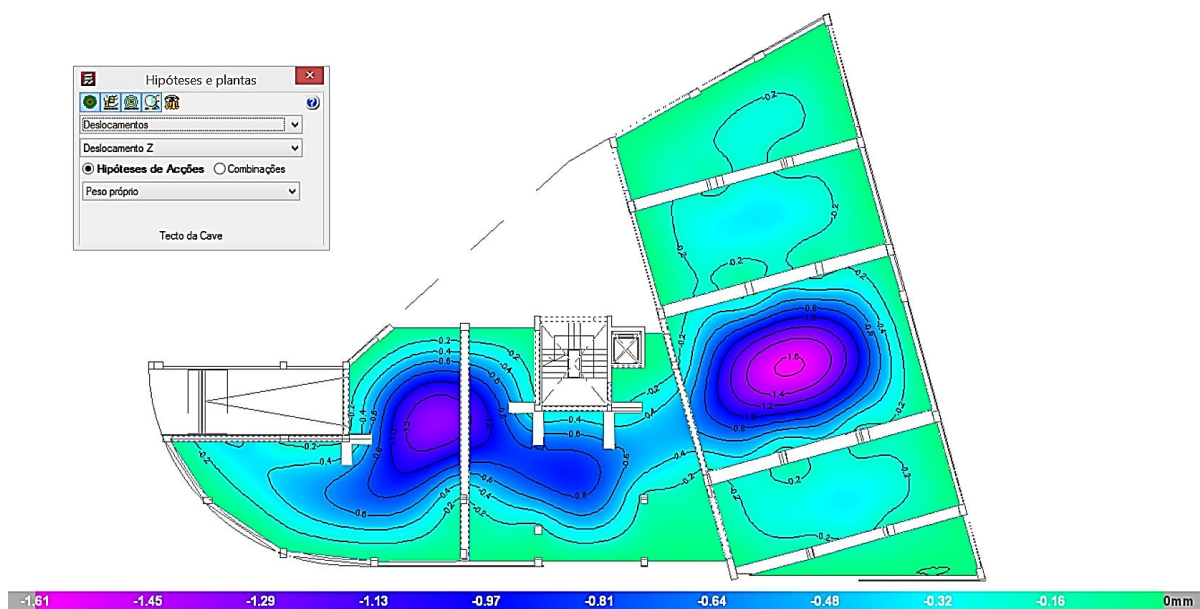


Figura 12: Visualização de isovalores e isolinhas no software CYPECAD.

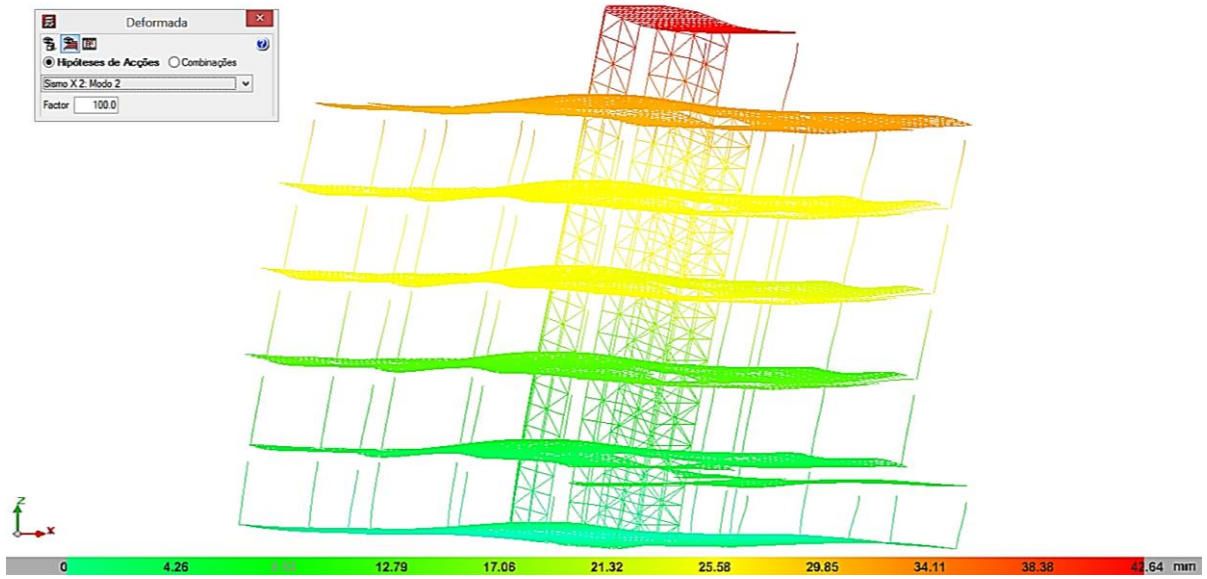


Figura 13: Visualização da deformada da estrutura 2D no software CYPECAD.

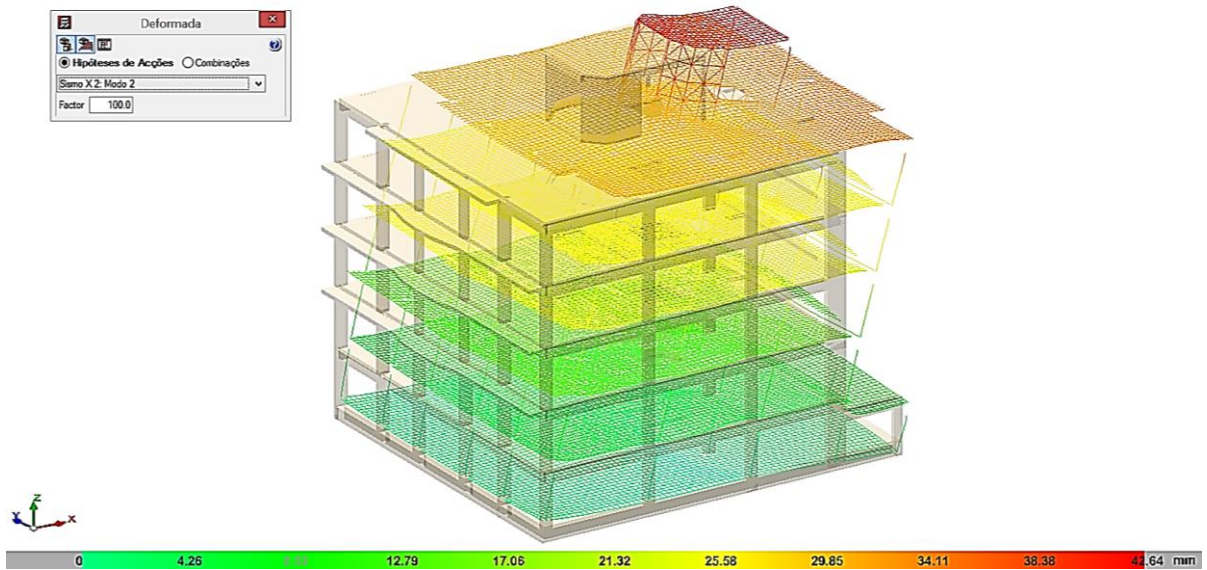


Figura 14: Visualização da deformada da estrutura 3D no software CYPECAD.

Capítulo 3

Caracterização da Amostra Geral de Edifícios

A empresa Top Informática disponibiliza aos seus utilizadores uma série de serviços de apoio técnico à elaboração de projetos com recurso ao software CYPECAD e, por isso, possui um arquivo de obras vasto, ao qual se recorreu para uma minuciosa seleção de edifícios que pudessem constituir uma amostra representativa da construção em Portugal.

Na referida seleção procurou-se que os edifícios apresentassem características de estruturas porticadas e fossem de betão armado. As obras selecionadas constituíram, assim, uma amostra, de onde foram recolhidos um conjunto de dados que permitiram obter uma caracterização adequada dos edifícios no geral.

3.1. Descrição da Amostra Geral

Foram selecionados 20 edifícios de 1 a 8 pisos, num total de 160 edifícios, dos quais foram recolhidos os dados gerais de construção fornecidos pelos utilizadores e, posteriormente, organizados em tabelas, disponíveis no Anexo A deste trabalho. As informações recolhidas foram:

- Ano de elaboração do projeto;
- Utilização da construção;
- As normas utilizadas para elementos de betão armado e para resistência aos sismos, bem como, a zona sísmica em causa;
- Tipo de betão utilizado em lajes, vigas e pilares;
- Tipo de aço utilizado;
- Número total de pisos acima e abaixo da cota de soleira.

É necessário salientar que a empresa Top Informática recebe os edifícios numa fase de conceção que não é necessariamente a fase final e, portanto, o edifício selecionado do arquivo poderá não ser o projeto definitivo a executar ou poderá nunca ter sido realizado. Consequentemente, também não é conhecido o ano exato em que os edifícios foram construídos mas apenas o ano em que foi feito o pedido de contacto por parte dos utilizadores do software CYPECAD.

Os edifícios foram selecionados com base no tipo de utilização prevista, deste modo, foram selecionados os que, segundo o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), pertencessem ao grupo “a) Compartimentos destinados a utilização de carácter privado (por exemplo: habitações, quartos de hotéis, quartos e pequenas enfermarias de hospitais) ” (Art.º 35), ou segundo a NP EN 1991-1-1 – Eurocódigo 1: Ações em estruturas (EC1), pertencessem à “Categoria A: Atividades domésticas e residenciais” (EC1-6.3.1.1). No software CYPECAD as categorias de utilização são definidas de acordo com as especificações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Categorias de utilização, segundo o RSA [2] e o EC1 [3].

Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes		NP EN 1991-1-1 – Eurocódigo 1: Ações em estruturas	
1	Coberturas	A	Atividades domésticas e residenciais
2	Privado (habitações, hotéis)	B	Escritórios
3	Coletivo sem concentração especial	C	Locais de reunião
4	Coletivo de média concentração	D	Comércios
5	Coletivo com possibilidade de elevada concentração	E	Armazéns
6	Coletivo com possibilidade de muito elevada concentração	F	Peso de veículo ≤ 30 kN
7	Escritórios com equipamento pesado, cozinhas	G	$30 \text{ kN} < \text{peso de veículo} \leq 160$ kN
8	Arquivo	H	Coberturas
9	Oficinas de indústria ligeira		

Neste levantamento de dados provenientes dos clientes foi recolhida a informação relativa às normas utilizadas para elementos de betão armado e para a resistência aos sismos, sendo que neste último caso foi também reunida a informação sobre a zona sísmica do projeto. Outra informação retirada foi a classe de betão utilizado em lajes, vigas e pilares e o tipo de aço, segundo o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP) e a NP EN

1992-1-1 – Eurocódigo 2: Projeto de Estruturas de Betão (EC2). No software CYPECAD os tipos de betão e de aço que são especificados no software CYPECAD de acordo com as Tabelas 2 e 3, respetivamente.

Tabela 2: Classe de betão, segundo o REBAP [4] e o EC2 [5].

Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado	NP EN 1992-1-1 – Eurocódigo 2: Projeto de Estruturas de Betão
B15	C12/15
B20	C16/20
B25	C20/25
B30	C25/30
B35	C30/37
B40	C35/45
B45	C40/50
B50	C45/55
B55	C50/60

Tabela 3: Tipo de aço, segundo o REBAP [4] e o EC2 [5].

Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado	NP EN 1992-1-1 – Eurocódigo 2: Projeto de Estruturas de Betão
A235	S-220
A400	S-400
A500	S-500

Relativamente ao número total de pisos acima e abaixo da cota de piso, admitiu-se que a cota de piso é aquela por onde se faz o acesso principal ao edifício, assim, os pisos foram contabilizados como se encontra exemplificado na Figura 15. Salienta-se ainda que os edifícios foram considerados independentemente de ter pisos enterrados ou não, optando-se apenas por não se considerar os resultados relativos a muros e fundações, tendo em vista obter dados comparáveis sobre a superestrutura.

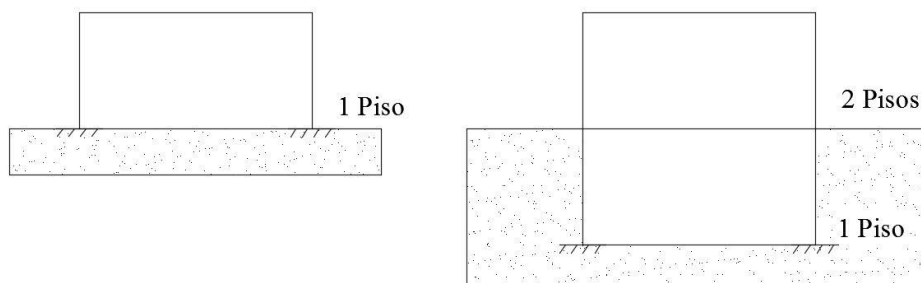


Figura 15: Esquematização do número de pisos.

A título de exemplo, nas Tabelas 4 e 5 encontram-se as vistas tridimensionais de alguns dos edifícios integrantes da amostra geral, organizadas em função do número de pisos. Verifica-se certamente uma elevada diversidade na geometria da amostra.

Tabela 4: Vista tridimensional de alguns dos edifícios selecionados.

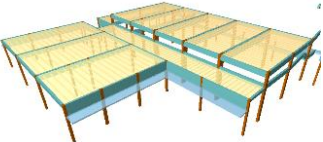
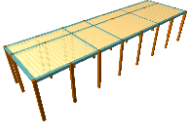
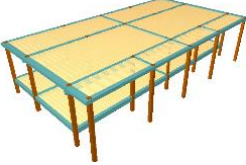
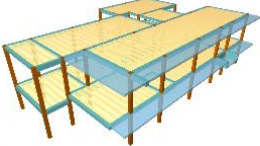

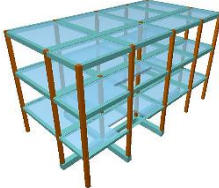
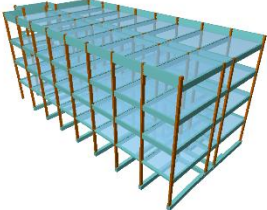
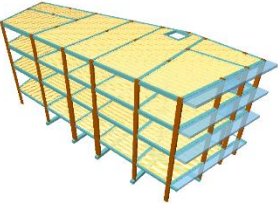
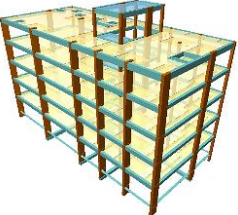
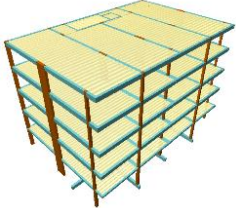
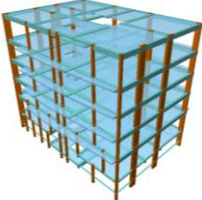

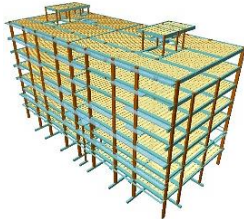
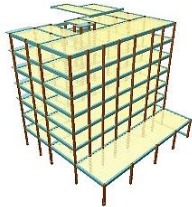
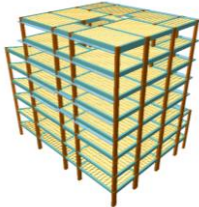
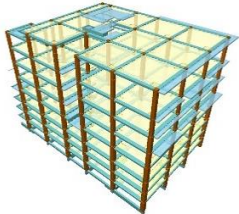
N.º de Pisos	Vista Tridimensional	
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Tabela 5: Vista tridimensional de alguns dos edifícios selecionados (continuação da Tabela 4).

N.º de Pisos	Vista Tridimensional	
7		
8		

3.2. Análise da Amostra Geral

3.1.1. Ano de Elaboração do Projeto

Para melhor caracterizar a variabilidade da amostra de edifícios de uma forma geral, visto que, para além da elevada diversidade geométrica, distribui-se num grande intervalo de tempo, dividiu-se a amostra em dois grupos: (i) habitação com número de pisos igual ou inferior a quatro pisos e (ii) habitação cujo número de pisos esteja compreendido entre cinco e oito pisos, num intervalo de tempo entre 2003 e 2014. Os dados obtidos apresentam-se na Tabela 6.

Tabela 6: Distribuição do número total de obras entre 2003 e 2014.

Ano	N.º Pisos ≤ 4	$5 \geq$ N.º Pisos ≤ 8	N.º Total de Obras
2003	0	3	3
2004	0	14	14
2005	10	11	21
2006	1	7	8
2007	5	3	8
2008	12	8	20
2009	11	5	16
2010	21	8	29
2011	5	6	11
2012	8	8	16
2013	3	3	6
2014	4	4	8
Total	80	80	160

No Gráfico 1 é possível observar o número total de edifícios, em percentagem, correspondente a cada ano e constata-se que 18% dos edifícios da amostra foram desenvolvidas no ano 2010, 13% foram desenvolvidas no ano 2005 e 12% foram desenvolvidas no ano 2008. Em geral, verifica-se uma distribuição alargada ao longo dos últimos dez anos.

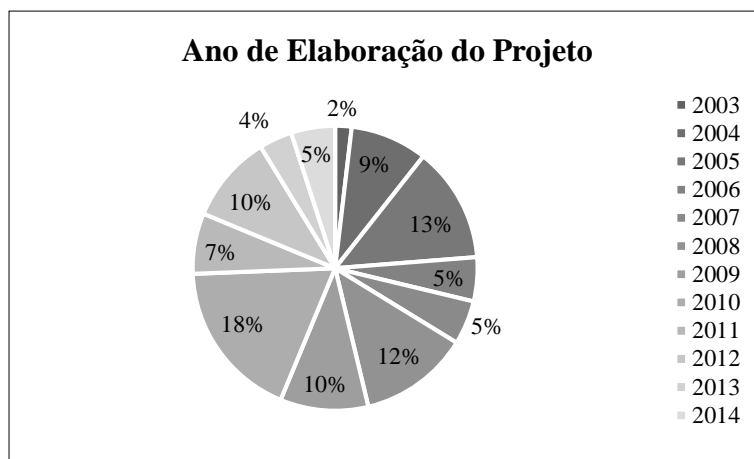


Gráfico 1: Ano de elaboração do projeto dos edifícios analisadas.

3.1.2. Normas para Elementos de Betão Armado e para Resistência aos Sismos

No que concerne às normas selecionadas pelos utilizadores, para os elementos de betão armado é possível optar entre o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP) e a NP EN 1992 – Eurocódigo 2: Projeto de Estruturas de Betão (EC2), e para resistência aos sismos, entre o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) e a NP EN 1998 – Eurocódigo 8: Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos (EC8).

No Gráfico 2 observa-se que 94% dos edifícios foram elaborados com a utilização conjunta do REBAP e do RSA, enquanto 4% utilizaram o EC2 com o RSA e apenas 2% utilizaram o EC2 com o EC8. Este resultado é algo inesperado, atendendo a que a regulamentação europeia data de 2004 e a generalidade das Instituições de Ensino Superior em Portugal introduziram esta regulamentação há cerca de uma década. Verifica-se, no entanto, que a utilização profissional da regulamentação europeia em obras de edifícios correntes de betão armado para habitação é marginal.

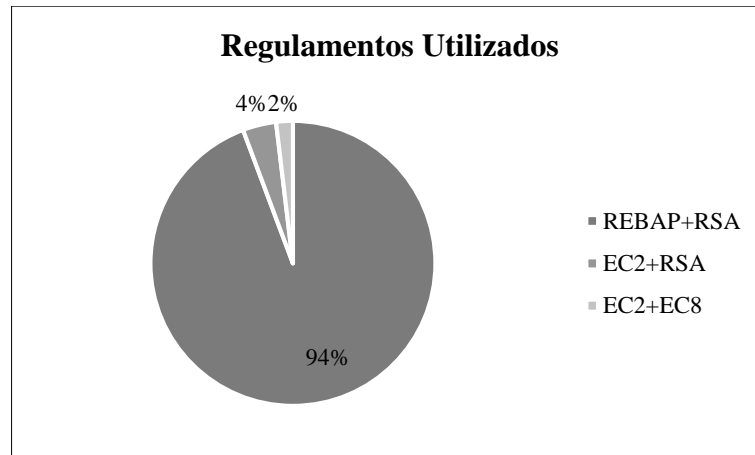


Gráfico 2: Regulamentos utilizados no dimensionamento de elementos de betão armado e para resistência aos sismos.

3.1.3. Zonas Sísmicas

O levantamento de informação referente à norma selecionada para resistência aos sismos permitiu o conhecimento adicional da zona sísmica para a qual estava a ser elaborado o projeto. Assim, no Gráfico 3, que apresenta o zonamento sísmico segundo o RSA, verifica-se que 52% dos edifícios foram elaborados para a zona A, seguindo-se a zona D com 33%. Em menor percentagem encontram-se as zonas C e D com 8% e 7%, respetivamente. Verificou-se ainda que na amostra geral de 160 edifícios existem apenas três projetos que utilizaram o EC8, cujas zonas sísmicas selecionadas encontram-se na Tabela 7.

Estes resultados são também algo inesperados face aos resultados dos mais recentes censos, que indicam que a distribuição dos fogos pelas várias regiões do país não sofreu alterações assinaláveis no período 1991-2010. Dos 5,8 milhões de alojamentos residenciais clássicos existentes no país em 2010, 32,4% localizam-se na região Norte, 24,8% na região de Lisboa e 24,6% na região Centro. As restantes regiões representam cerca de 18% dos fogos existentes no país [6]. Apesar da NUTS II da zona centro incluir zonas muito próximas de Lisboa, a excessiva concentração de construção na zona A (cerca 50% das obras) poderá resultar de um dos seguintes condicionantes: (a) conservadorismo de alguns projetistas que adotam a zona sísmica mais gravosa; (b) a construção elevada que se realizou na última década na envolvente de Lisboa e no Algarve.

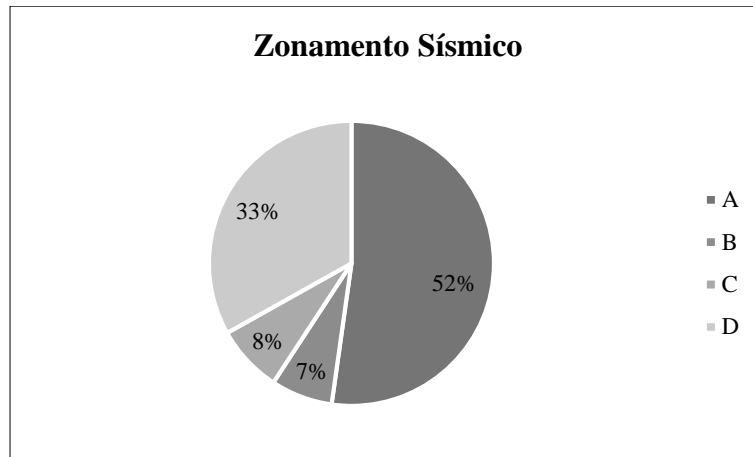


Gráfico 3: Zonamento Sísmico, segundo o RSA.

Tabela 7: Projetos de edifícios que utilizaram o EC8 e respetivas zonas sísmicas.

N.º de Pisos	Edifício N.º	Zona Sísmica	
		Tipo 1	Tipo 2
1	4	1,3	2,3
	19	1,6	2,5
6	19	1,6	2,4

3.1.4. Tipo de Betão e Aço Utilizados

Relativamente à classe de resistência de betão mais utilizada nos projetos da amostra geral de edifícios, no Gráfico 4 observa-se que 49% das obras em análise utilizaram betão da classe C20/25, seguindo-se com percentagens semelhantes as classes C25/30 e C16/20, respetivamente com 24% e 19%. Salienta-se a elevada percentagem de edifícios com uma baixa classe para o betão, o que poderá novamente indiciar algum conservadorismo por parte dos projetistas.

No que concerne ao tipo de armaduras, através do Gráfico 5 conclui-se que 79% das obras foram elaborados com varões de aço A400 e apenas 21% com varões de aço A500. Este resultado pode ser também considerado algo inesperado, uma vez que o custo de ambos os aços é semelhante e a consideração do A400 implica um aumento de custo no valor do aço.

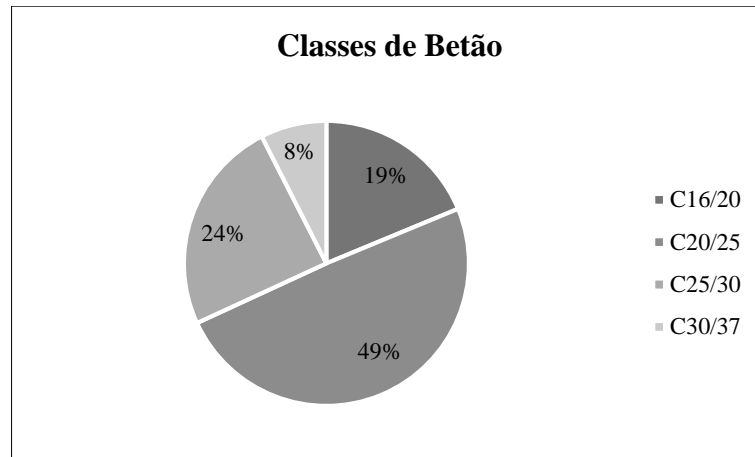


Gráfico 4: Percentagem da classe de resistência de betão utilizada em projeto.

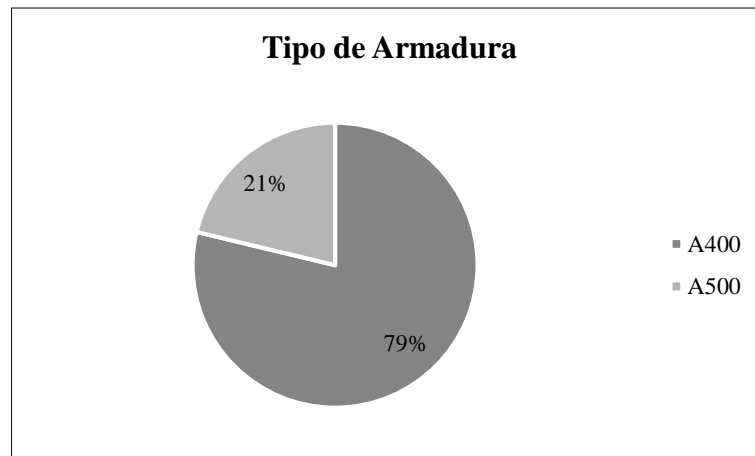


Gráfico 5: Percentagem do tipo de aço utilizado em projeto.

3.1.5. Área Total de Construção

Da análise dos dados concluiu-se que seria pertinente avaliar a área construção por altura dos edifícios, bem como, conhecer o tipo de laje predominante das obras integrantes da amostra geral, tendo em vista a melhor caracterização a amostra. Relativamente à área de construção por altura dos edifícios, o software CYPECAD permite a consulta da superfície total de construção, em m^2 , que consiste no somatório das áreas de todos os pavimentos acima e abaixo do solo, medidas pelo extradorso das paredes exteriores. É também possível consultar a superfície total de lajes, em m^2 , que consiste no somatório das áreas de todos os pavimentos acima e abaixo do solo, medidas pelo intradorso das paredes exteriores. Assim, à semelhança do levantamento realizado para os dados de obra, foi possível obter a área total de construção por número de pisos e conhecer o tipo de laje predominante de cada projeto em análise.

Conhecidas as áreas totais de construção de cada edifício por número de piso, definiram-se intervalos de área total de construção aos quais foram atribuídas as áreas totais compreendidas nesse intervalo.

No que concerne tipo de laje predominante, no Gráfico 6 observa-se que 50% dos edifícios em análise apresentam laje maciça, seguindo-se as lajes de vigotas e fungiformes, representando 36% e 14%, respetivamente, da amostra geral.

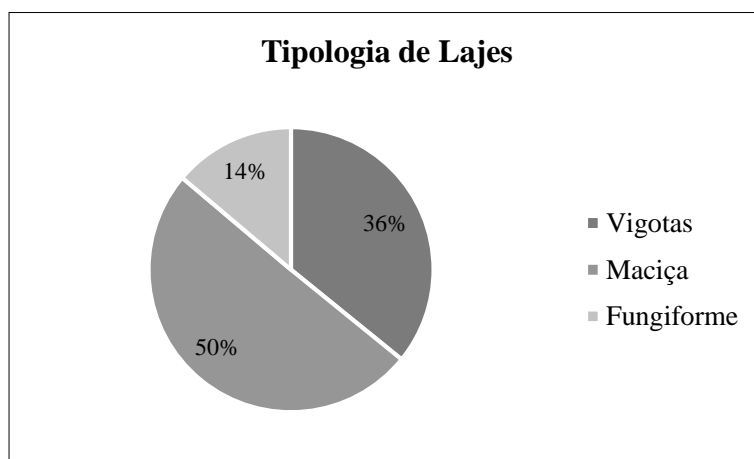


Gráfico 6: Tipo de laje predominante na amostra geral de edifícios.

Através do Gráfico 7 e da Tabela 8 verifica-se que o intervalo de área total de construção entre 150 m² e 1150 m² abrange cerca de 41% do número total de edifícios, seguindo-se o intervalo entre 1150 m² e 2150 m² com 21% e o intervalo 3150 m² e 4150 m² com 17%. Os restantes intervalos de áreas totais de construção, que vão desde 3150 m² a 10150 m², são menos representativos e variam entre 8% e 1%, perfazendo uma média de 3% do número total de edifícios por pisos.

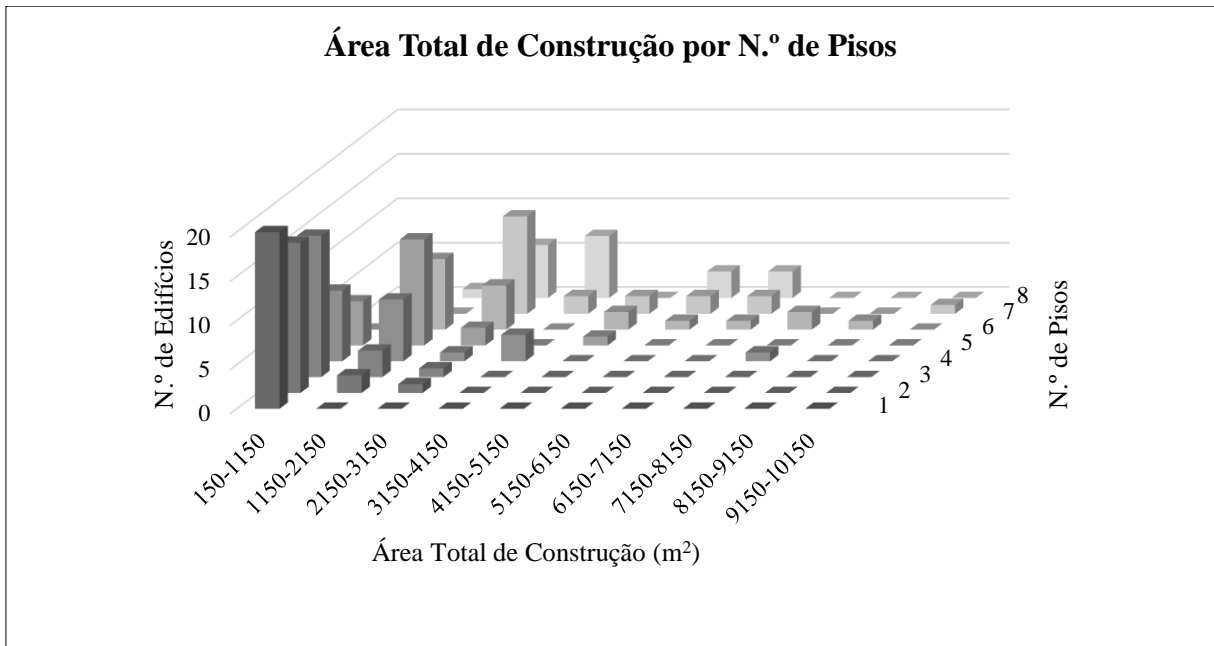


Gráfico 7: Intervalos de área total de construção por número de pisos dos edifícios.

Tabela 8: Número de edifícios compreendidos em cada intervalo de área total de construção.

Intervalo de Área Total de Construção (m ²)	N.º de Edifícios por N.º de Pisos								%
	1	2	3	4	5	6	7	8	
150-1150	20	17	16	8	5	0	0	0	41%
1150-2150	0	2	3	7	12	8	0	1	21%
2150-3150	0	1	1	1	2	5	11	6	17%
3150-4150	0	0	0	3	0	0	2	7	8%
4150-5150	0	0	0	0	1	2	2	0	3%
5150-6150	0	0	0	0	0	1	2	3	4%
6150-7150	0	0	0	0	0	1	2	3	4%
7150-8150	0	0	0	1	0	2	0	0	2%
8150-9150	0	0	0	0	0	1	0	0	1%
9150-10150	0	0	0	0	0	0	1	0	1%
Total	80				80				100%

É possível verificar que existe uma relação entre a área total de construção e o número de pisos dos edifícios, uma vez que quanto maior o número de pisos maior será a área de construção. Para comprovar esta observação, apesar dos Gráficos 8 e 9 apresentarem alguma dispersão, principalmente para edifícios de três e de cinco pisos, observa-se um coeficiente de correlação de $R^2=0,89$ e $R^2=0,75$, respetivamente, que representa uma relação linear forte entre a área total de construção e o número de pisos do edifício.

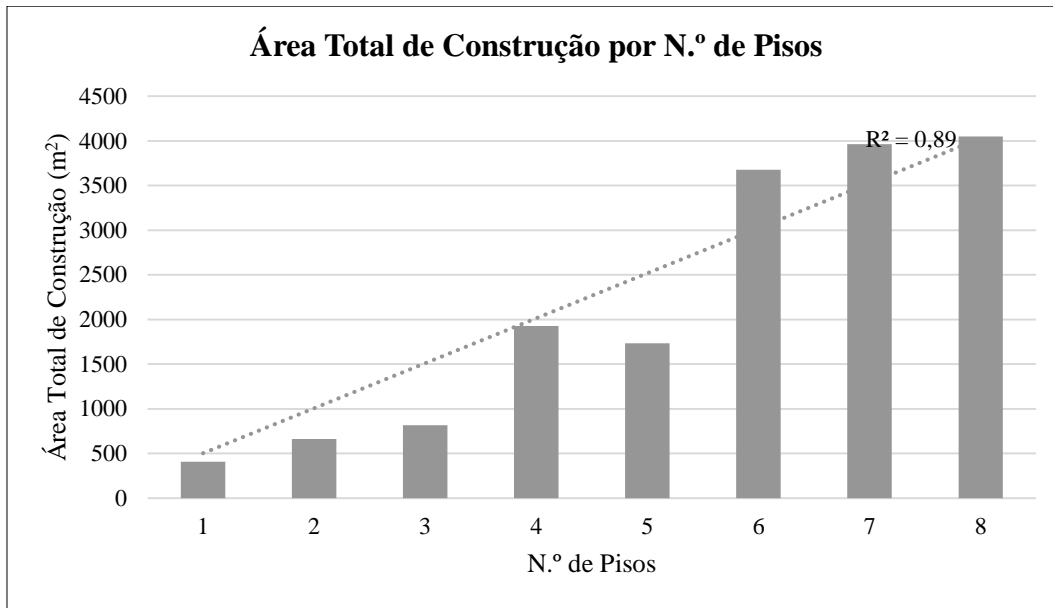


Gráfico 8: Média da área total de construção por número de pisos.

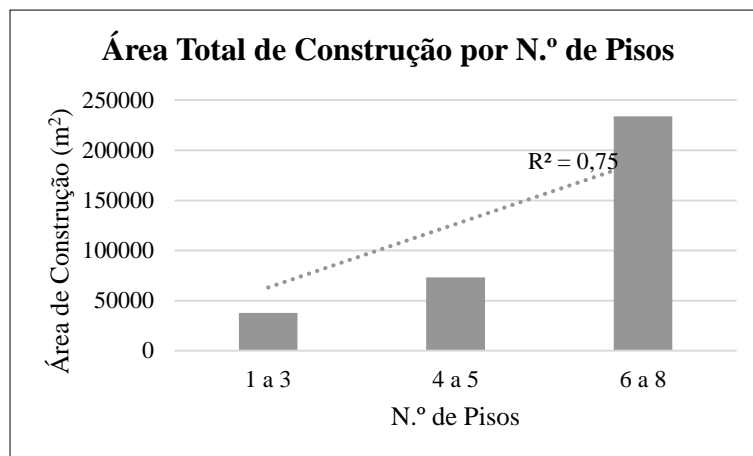


Gráfico 9: Resumo da área total de construção.

Capítulo 4

Comparação entre a Regulamentação para Estruturas de Betão Armado

Em Portugal está a atravessar-se um período de transição regulamentar no que diz respeito ao projeto de estruturas de betão armado, permitindo que o projetista possa optar entre o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado e o Regulamento de Segurança e Ações (aqui designados simplifadamente por REBAP e RSA, respetivamente) ou a regulamentação Europeia, nomeadamente, a NP EN 1992-1-1:2010 para dimensionamento e pormenorização dos elementos estruturais de betão armado e a NP EN 1998-1-1:2010 para definir a ação sísmica (aqui designadas por EC2 e EC8, respetivamente).

O EC8, que substitui o RSA na quantificação da ação sísmica, veio introduzir um novo zonamento sísmico e, provavelmente, níveis de exigência para o comportamento estrutural superiores aos definidos na atual regulamentação. Contudo, as principais diferenças entre as duas regulamentações encontram-se na definição da ação sísmica e na ductilidade das estruturas, sendo particularmente relevante efetuar uma comparação sistemática entre as duas regulamentações. Como se verificou no Capítulo anterior, os projetistas parecem continuar a utilizar de forma quase exclusiva a regulamentação nacional (95% do total). No Capítulo seguinte desta dissertação vai-se analisar as consequências, em termos de quantidade de armadura, da utilização da regulamentação europeia, quando comparada com a regulamentação nacional.

4.1. Ação Sísmica

O RSA e o EC8 dão relevância à definição da ação sísmica através de espectros de reposta, pelo que é segundo este método que será definida a ação sísmica no presente trabalho. Com base no disposto na parte 1 do EC8, a finalidade do projeto sismo-resistente é o de, na eventualidade da ocorrência de um sismo, proteger a vida humana, limitar as perdas económicas e assegurar a operacionalidade de estruturas importantes para a Proteção Civil.

Neste contexto, segundo o EC8-2.1(1) é essencial que as estruturas localizadas em zonas sísmicas sejam projetadas e construídas de forma a cumprir os requisitos de não ocorrência de colapso e de limitação de danos. O requisito de não ocorrência de colapso indica que as estruturas devem ser capazes de suportar a ação sísmica de projeto sem colapso local ou global, preservando a sua integridade estrutural e ainda uma capacidade resistente residual após a ocorrência do sismo. O requisito de limitação de danos define que as estruturas sujeitas à ação de um sismo relativamente frequente, e menos intenso do que o da situação anterior, devem apresentar danos limitados, deste modo, devem ser evitados os danos estruturais e limitar os danos não estruturais [7].

Para satisfazer estes requisitos fundamentais o EC8-2.2.1-(1) considera que o projeto de estruturas sujeitas a ação sísmica devem verificar os estados limites últimos (ELU) e os estados de limitação de danos (ELS). Os ELU estão relacionados com a resistência e a capacidade de dissipação de energia da estrutura, pelo que são associados ao colapso ou a roturas que possam pôr em causa a segurança da vida humana. Os ELS estão relacionados com a limitação das deformações laterais da estrutura e são associados a danos e a requisitos de utilização que deixem de ser satisfeitos.

Estes requisitos regulamentares devem ser verificados para dois níveis diferentes de intensidade da ação sísmica, ou seja, para sismos com diferente probabilidade de ocorrência. A ação sísmica para a qual o requisito de não ocorrência de colapso é verificado é designada por ação sísmica de “projeto”, que para edifícios correntes tem em conta um período de retorno de referência de 475 anos. A ação sísmica para a qual o requisito de limitação de danos é verificado é designada por ação sísmica de “serviço”, que para edifícios correntes corresponde a um período de retorno de referência de 95 anos.

O RSA caracteriza a ação sísmica como uma ação variável com um período de retorno de 975 anos para todas as estruturas e apenas é considerada a ação sísmica na verificação da segurança aos estados limite últimos. Para efeitos de verificação dos estados limites últimos, os efeitos da ação sísmica são majorados por um coeficiente parcial de segurança de 1,5. Tal majoração não acontece no EC8, o que implica que o RSA apresente um período de retorno ainda maior quando comparado com o EC8 [8]. Do ponto de vista do dimensionamento estrutural, esta majoração afetará os resultados da ação sísmica representando um aspeto determinante na comparação de resultados entre regulamentos. No entanto, existem outros aspetos relevantes nesta comparação, tais como a informação disponível sobre os sismos máximos prováveis, o zonamento sísmico e a rigidez dos elementos verticais, que afetam significativamente os períodos da estrutura. Como

referido, outro aspeto díspar entre as duas abordagens é o facto de o RSA não mencionar o estado limite de utilização relativo à limitação dos danos prevista no EC8.

4.2. Zonamento Sísmico

No que concerne ao zonamento sísmico, segundo o EC8, a definição das zonas sísmicas de cada país é definido pelo respetivo Anexo Nacional e para Portugal Continental são definidos dois tipos de ação sísmica, visto que existem duas zonas sismogénicas distintas, designadamente a Ação sísmica Tipo 1 e a Ação sísmica Tipo 2. A Ação sísmica Tipo 1, associada à ação sísmica afastada, diz respeito a sismos com epicentro na região Atlântica e caracteriza-se por baixas frequências e por sismos de elevada magnitude com longa duração. Por outro lado, a Ação sísmica Tipo 2, associada à ação sísmica próxima, refere-se a sismos com epicentro no território continental e caracteriza-se pela sua elevada frequência e por sismos de magnitude média e de curta duração [7].

O EC8-3.2.1-(2) define que a ação sísmica é descrita por um único parâmetro (para além da forma do espetro): o valor máximo de referência da aceleração máxima na base num terreno do tipo rochoso, a_{gR} . Este parâmetro encontra-se estipulado no Anexo Nacional para as diferentes zonas sísmicas e para os dois tipos de ação sísmica a considerar cuja intensidade sísmica vai reduzindo da zona 1 para a zona 6, no caso de Ação sísmica Tipo 1 (sismo afastado), ou da zona 1 para a zona 5, no caso da Ação sísmica Tipo 2 (sismo próximo). Os valores da aceleração máxima correspondentes a cada zona sísmica definidos no EC8-3.2.1-(3) apresentam-se na Tabela 9 e correspondem a um período de retorno de referência da ação sísmica para o requisito de não ocorrência de colapso.

Tabela 9: Valores da aceleração máxima de referência previstos no Anexo Nacional do EC8 para ação sísmica afastada e próxima [9].

Zona Sísmica	Ação sísmica Tipo 1 (Sismo afastado) a_{gR} (m/s²)	Ação sísmica Tipo 2 (Sismo próximo) a_{gR} (m/s²)
1	2,5	2,5
2	2,0	2,0
3	1,5	1,7
4	1,0	1,1
5	0,6	0,8
6	0,35	-

De acordo com a Figura 16, a cada zonamento sísmico corresponde um Concelho. No caso do Arquipélago da Madeira e do Arquipélago dos Açores (Figuras 17 e 18) também se aplicada a mesma filosofia de zonamento sísmico, contudo, na Madeira só é considerada a Ação sísmica Tipo 1 e nos Açores apenas é considerada a Ação sísmica Tipo 2.

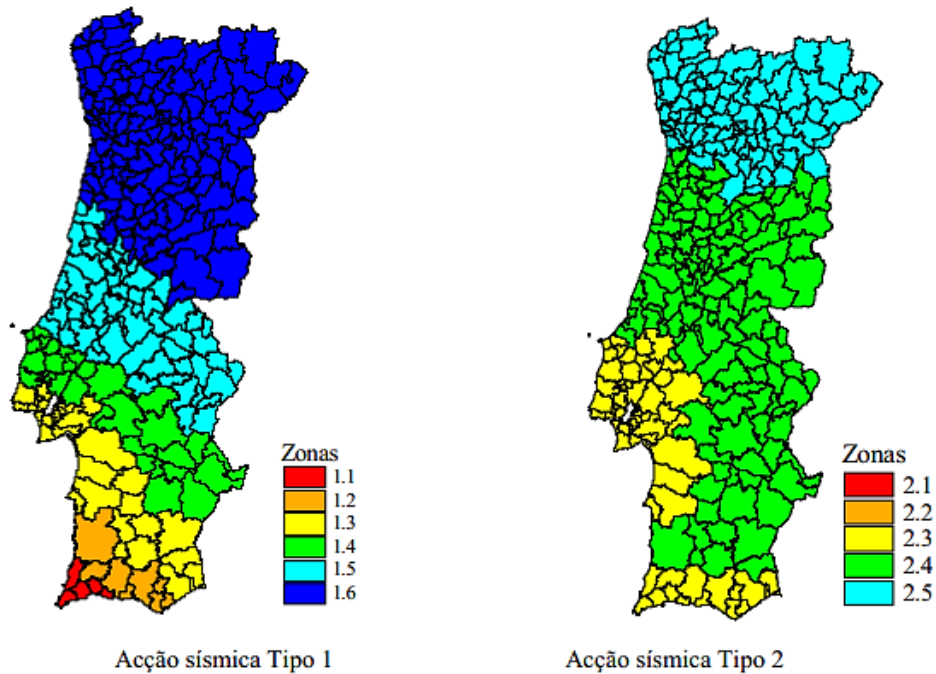


Figura 16: Zonamento sísmico em Portugal Continental para ação sísmica afastada (Tipo 1) e próxima (Tipo 2), segundo o Anexo Nacional do EC8 [9].



Figura 17: Zonamento sísmico no Arquipélago da Madeira – Ação sísmica Tipo 1, segundo o Anexo Nacional do EC8 [9].

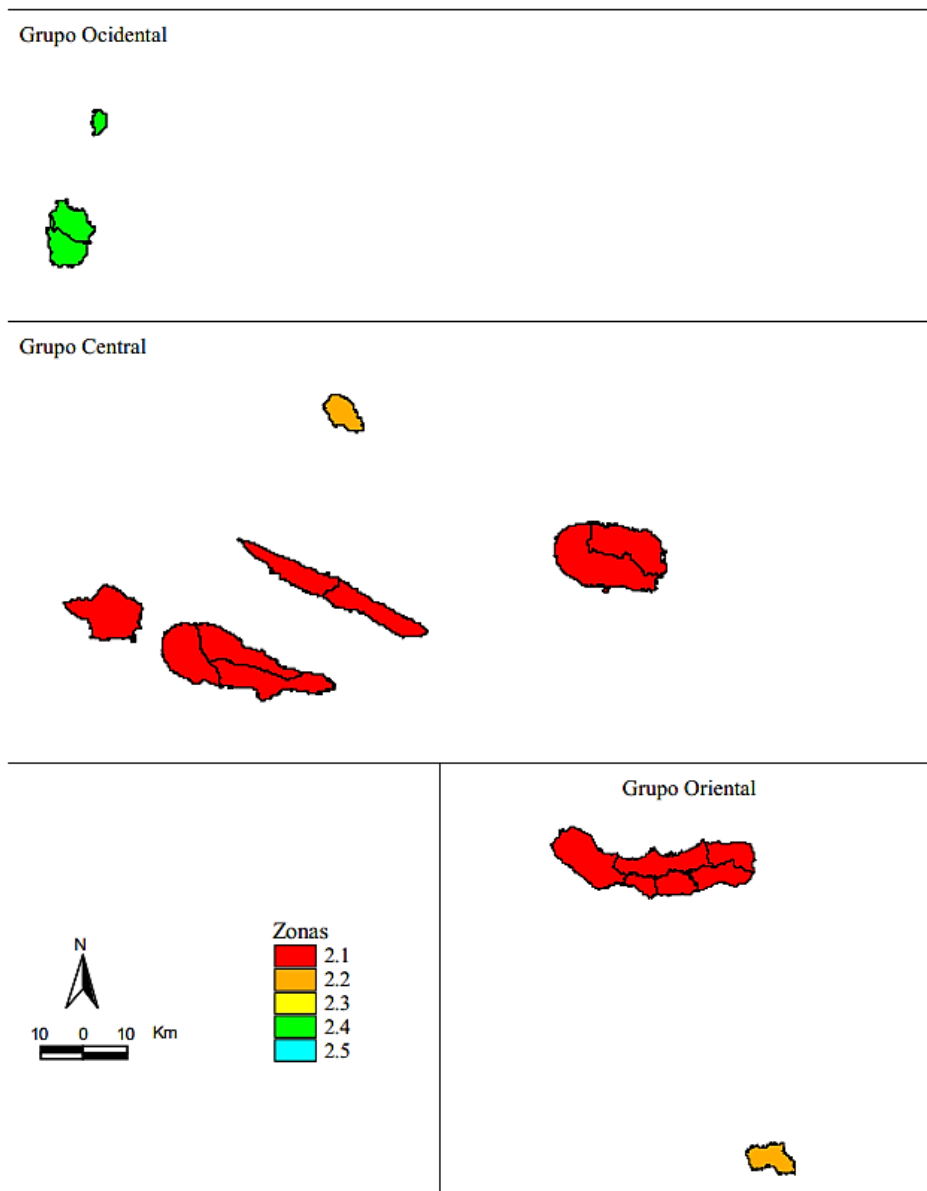


Figura 18: Zonamento sísmico no Arquipélago dos Açores – Ação sísmica Tipo 2, segundo o Anexo Nacional do EC8 [9].

De forma semelhante ao EC8, o RSA caracteriza a ação dos sismos como sendo o resultado de um conjunto de vibrações do terreno transmitidas às estruturas através das fundações, em função da sismicidade da zona e da natureza do terreno de implantação. No que concerne ao zonamento sísmico, o RSA adotou um zonamento definido com base em estudos de sismicidade efetuados aquando da elaboração do regulamento em questão.

Neste regulamento, Portugal Continental encontra-se dividido em quatro zonas (Figura 19), designadas por A, B, C e D, por ordem decrescente de sismicidade, cujos limites coincidem com limites de concelhos detalhadamente descritos no Anexo III do mesmo regulamento, apresentados na Tabela 10. Embora não se encontrem representadas, é referido que o

Arquipélago dos Açores pertence à zona A, à exceção das ilhas das Flores e do Corvo, que juntamente com o Arquipélago da Madeira pertencem à zona D.

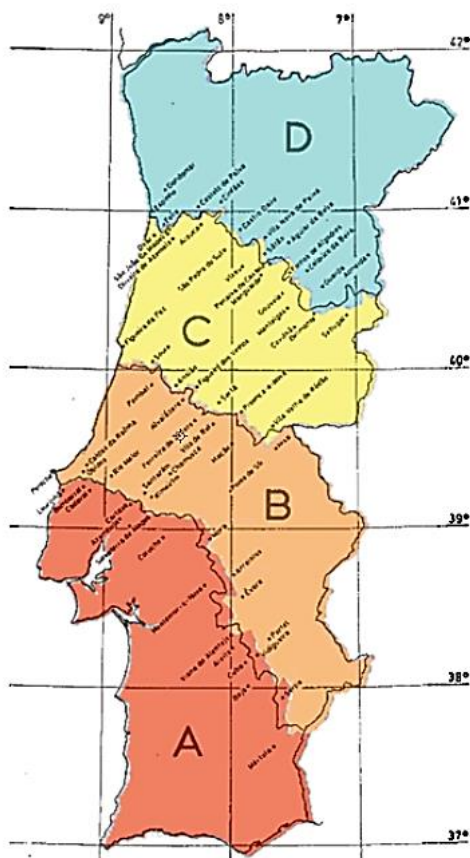


Figura 19: Zonamento sísmico do território Continental, segundo o Anexo III do RSA [2] (adaptado pela autora).

Tabela 10: Delimitação das zonas sísmicas, por concelhos, segundo o RSA [2].

Zonas Sísmicas	Concelhos
A	Beja, Faro, Lisboa, Setúbal
B	Évora, Leiria, Santarém, Portalegre
C	Aveiro, Castelo Branco, Coimbra, Viseu
D	Braga, Bragança, Guarda, Porto, Viana do Castelo, Vila Real

Segundo o Artigo 2.º do Anexo III do RSA, estão contemplados dois tipos de ação sísmica: a Ação sísmica Tipo 1, que representa um sismo de magnitude moderada a pequena distância focal com a duração de 10 segundos, e Ação sísmica Tipo 2, relativa a um sismo de maior magnitude a maior distância focal com a duração de 30 segundos. Contudo, não é considerado um zonamento sísmico diferente para os dois tipos de ação sísmica. No RSA os valores característicos da ação sísmica são definidos em função da zona em que se situa e da natureza

do terreno no local em que o edifício é implantado. A influência da sismicidade para as diferentes zonas do território é representada por um coeficiente de sismicidade, α , cujos valores são indicados na Tabela 11. No entanto, este regulamento não explicita o valor da aceleração do terreno e, por isso, os valores apresentados na Tabela 12 são valores implícitos resultantes dos espectros de aceleração deste regulamento.

Tabela 11: Valores dos coeficientes de sismicidade para as diferentes zonas sísmicas, segundo o RSA [2].

Zona Sísmica	α
A	1,0
B	0,7
C	0,5
D	0,3

Tabela 12: Valores da aceleração máxima de referência previstos no RSA para ação sísmica afastada e próxima [2].

Zona Sísmica	Ação sísmica Tipo 1 (Próxima) a_{gR} (m/s ²)	Ação sísmica Tipo 2 (Afastada) a_{gR} (m/s ²)
A	1,77	1,07
B	1,24	0,75
C	0,89	0,54
D	0,53	0,32

Existe assim uma grande discrepância entre os regulamentos em análise, ao nível do zonamento do território, visto que o EC8 define um zonamento sísmico em função do tipo de ação sísmica, enquanto o RSA define um zonamento para ambas as ações sísmicas que, como pode observar-se, nas Figuras 16 e 19, é bastante distinto, realçando-se o maior detalhe e aproximação dos estudos teóricos por parte do EC8.

Relativamente aos valores das acelerações de projeto, entre o EC8 e o RSA, observa-se que para uma ação sísmica próxima, os valores propostos por estes regulamentos são aproximados (aproximadamente 180 cm/s² em ambos os regulamentos), acontecendo o oposto no caso de ação sísmica afastada em que a diferença é bastante significativa (o RSA propõe 107 cm/s² e o EC8 varia entre 170 e 250 cm/s²), o que parece representar o aumento do nível das exigências de desempenho em certas zonas a sul de Portugal Continental [10]. Salienta-se que esta afirmação depende de outros fatores, como as exigências de ductilidade ou a rigidez dos elementos estruturais verticais.

4.3. Classificação dos Solos

A definição da ação sísmica depende também da caracterização do tipo de solo onde será implantada a estrutura. No RSA (Art.º 29.2), relativamente à natureza do terreno do local em que a construção é implantada, são considerados três diferentes tipos: Tipo I (rochas e solos coerentes rijos), Tipo II (solos coerentes muito duros, duros e de consistência média e solos incoerentes compactos) e Tipo III (solos coerentes moles e muito moles e solos incoerentes soltos). Segundo a abordagem do EC8-3.1.2-(1), o solo onde é implantada a construção é classificado do tipo A, B, C, D e E, dependendo da descrição do respetivo perfil estratigráfico e de acordo com o valor da velocidade média das ondas de corte, $v_{s,30}$, o valor obtido do ensaio N_{SPT} e o valor da resistência ao corte não drenada, c_u .

O nível de exigência que o EC8 introduz é uma importante alteração face à classificação proposta pelo RSA. A correspondência entre a classificação dos solos definidos segundo os dois regulamentos pode ser observada na Tabela 13 [11].

Tabela 13: Correspondência entre a classificação dos solos segundo diferentes regulamentos.

Classificação do Solo EC8	Classificação do Solo RSA
A	I
B	
C	II
D	III
E	-

4.4. Representação da Ação Sísmica

A resposta máxima que ocorre em sistemas lineares de um grau de liberdade, quando solicitados na sua base, é definida por um espectro de resposta de uma determinada componente sísmica. Assim, através dos espectros de resposta é possível realizar uma avaliação da resposta sísmica de sistemas estruturais flexíveis [12].

O RSA considera que a ação dos sismos é quantificada a partir da densidade espectral dos movimentos que a definem e, para estruturas em que não exista interação entre os modos de vibração que contribuem para a resposta, a ação sísmica pode ser quantificada através de espectros de resposta médios. Este regulamento permite que sejam efetuadas análises lineares e não lineares. Com o objetivo de simplificar a resolução de um problema dinâmico não linear, na aplicação dos métodos de análise dinâmica pode-se considerar que as estruturas têm um

comportamento linear, sendo posteriormente introduzidos os coeficientes de comportamento para a correção dos resultados, que são aplicados em função do tipo de estrutura e das suas características de ductilidade (Art.º 30.3).

Nos casos em que não se dispõe de informações necessárias para a definição da ação dos sismos e da resposta das estruturas em regime não linear, podem adotar-se simplificações, que, no geral, conduzem a uma caracterização satisfatória da ação. Assim, é possível determinar os efeitos da ação sísmica através da aplicação de forças estáticas às estruturas, tendo em conta as suas características dinâmicas. No entanto, esta simplificação só é válida se forem respeitados os requisitos mínimos necessários para que a estrutura seja considerada regular, através da verificação do primeiro modo de vibração na resposta dinâmica.

Segundo a abordagem do RSA (Anexo III, Art.º 2), a ação sísmica pode ser quantificada por espectros de resposta médios relativos às componentes horizontais de translação para a zona A (Figura 20), e para as restantes zonas multiplicam-se as ordenadas desses espectros pelos coeficientes de sismicidade respetivos. Os espectros de resposta médios relativos à componente vertical obtêm-se dos anteriores através do produto entre os espectros anteriores e dois terços das respetivas ordenadas. Os espectros relativos às componentes de rotação são quantificados com base nos espectros apresentados. Contudo, o RSA sugere que a quantificação sísmica através de espectros de resposta seja somente aplicada quando é admissível considerar a base da estrutura rígida, substituindo os efeitos da variação espacial por movimentos de rotação.

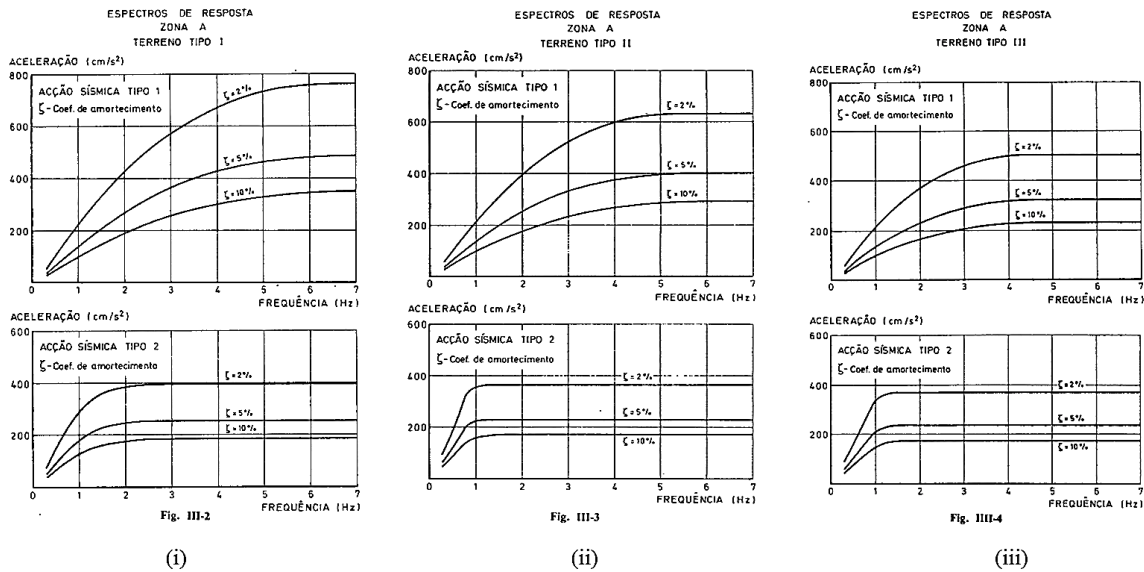


Figura 20: Espectros de resposta da Zona A para (i) Terrenos Tipo I (ii) Tipo II e (iii) Tipo III, segundo o RSA [2].

De uma forma análoga ao RSA, o EC8 prevê que a ação sísmica seja representada através de espectros de resposta quantificados através da representação gráfica do valor máximo da resposta, medida em termos de deslocamentos, acelerações, etc. Segundo o EC8-3.2.2.1-(1) e EC8-3.2.2.1-(2) a ação sísmica representa-se através de espectros de resposta elástica, $S_e(T)$, da aceleração à superfície do terreno, definidos de acordo com a sismicidade local e de um conjunto de valores de períodos (T_B , T_C e T_D) que permitem adaptar a forma do espectro de resposta elástica, representando o efeito dos diferentes tipos de terrenos e de ação sísmica. Assim, o espectro de cálculo para a análise elástica é o espectro de resposta elástica, $S_e(T)$, representado na Figura 21, é definido analiticamente no EC8-3.2.2.2-(1) pelas seguintes expressões:

$$0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (3)$$

$$T_D \leq T \leq 4s: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (4)$$

Em que:

- $S_e(T)$ Espectro de resposta elástica, em m/s^2 ;
- T Período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade, em s;
- a_g Valor de cálculo de aceleração à superfície para um terreno do tipo A, em m/s^2 ;
- T_B Limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante, em s;
- T_C Limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante, em s;
- T_D Valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante, em s;
- S Coeficiente de solo;
- η Coeficiente de correção do amortecimento, com o valor de referência $\eta = 1$ para 5% de amortecimento viscoso.

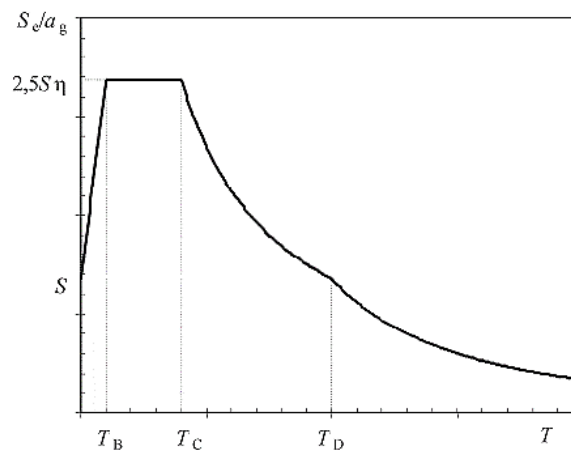


Figura 21: Forma do espectro de resposta elástica, segundo o EC8 [9].

Os valores dos períodos T_B , T_C e T_D limitam as zonas no espectro de resposta com características específicas que se verificam, de modo aproximado, nos espectros de resposta reais: a zona compreendida entre T_B e T_C apresenta um valor constante de aceleração espectral; a zona entre T_C e T_D corresponde à zona de velocidade constante; por fim, para períodos superiores a T_D os deslocamentos espectrais são constantes.

Em Portugal, a definição dos espectros de resposta elásticos têm também em consideração os dois tipos de ação sísmica (Ação sísmica Tipo 1 e Tipo 2) e o valor do parâmetro S , que deve ser determinado através da expressão para a qual o valor da aceleração a_g se encontra no intervalo indicado:

$$a_g \leq 1 \text{ m/s}^2 : S = S_{m\acute{a}x} \quad (5)$$

$$1\text{m/s}^2 < a_g < 4\text{m/s}^2 : S = S_{m\acute{a}x} - \frac{S_{m\acute{a}x} - 1}{3} (a_g - 1) \quad (6)$$

$$a_g \geq 4\text{m/s}^2 : S = 1,0 \quad (7)$$

Assim, o parâmetro S depende não só do tipo de solo, mas também do valor da aceleração à superfície do terreno a que está sujeito e o parâmetro $S_{m\acute{a}x}$ é um parâmetro definidor do espectro de resposta elástico, em função do tipo de ação sísmica, para o qual se devem adotar os valores definidos no Anexo Nacional, apresentados nas Tabelas 14 e 15. No Anexo Nacional encontram-se também definidos os sismos com maior probabilidade de ocorrência e os respetivos parâmetros a adotar na definição do espectro de resposta.

Tabela 14: Parâmetros de definição do espectro de resposta elástico para a Ação sísmica Tipo 1 [9].

Tipo de Terreno	Ação sísmica Tipo 1			
	$S_{m\acute{a}x}$	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,00	0,10	0,60	2,00
B	1,40	0,10	0,60	2,00
C	1,60	0,10	0,60	2,00
D	2,00	0,10	0,80	2,00
E	1,80	0,10	0,60	2,00

Tabela 15: Parâmetros de definição do espectro de resposta elástico para a Ação sísmica Tipo 2 [9].

Tipo de Terreno	Ação sísmica Tipo 2			
	$S_{m\acute{a}x}$	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,00	0,10	0,25	2,00
B	1,35	0,10	0,25	2,00
C	1,60	0,10	0,25	2,00
D	2,00	0,10	0,30	2,00
E	1,80	0,10	0,25	2,00

Contudo, segundo a abordagem do EC8, para além de se considerar o valor da aceleração à superfície do terreno deve considerar-se também a capacidade da estrutura em resistir às ações sísmicas no domínio não linear, nomeadamente, a capacidade de dissipação de energia da estrutura, obtida principalmente pelo comportamento dúctil dos elementos estruturais. O EC8-3.2.2.5 explora a ductilidade através dos espectros de cálculo (S_d , T), que resultam da introdução do coeficiente de comportamento, q .

O coeficiente de comportamento, q , é definido no EC8-3.2.2.5-(3) como uma aproximação da razão entre as forças sísmicas a que a estrutura fica sujeita se a sua resposta fosse completamente elástica, com 5% de amortecimento viscoso, e as forças sísmicas adotadas no projeto que asseguram uma resposta satisfatória da estrutura. Trata-se, então, de um coeficiente utilizado para efeitos de cálculo, que reduz as forças obtidas através de uma análise linear para ter em conta a resposta não linear do sistema estrutural [13]. Assim, quanto maior o valor do coeficiente de comportamento, maior será o nível de ductilidade da estrutura e maiores serão as exigências associadas às condições que garantem ductilidade para cada tipo de material. O conceito de ductilidade associado à capacidade da estrutura dissipar energia é explorado pelo EC8-5.2.2, que distingue para cada sistema estrutural e nível de ductilidade um conjunto de parâmetros associado ao processo da análise sísmica de edifícios sujeitos a ações sísmicas [14].

Outro aspeto relevante, não previsto no RSA e sem o qual não é possível definir o espectro de resposta de acordo com o EC8, é a classe de importância do edifício que é definida em função das consequências do colapso. Para efeitos de dimensionamento da estrutura a ação a considerar é a ação sísmica de cálculo, a_g , obtida pelo produto da aceleração de referência, a_{gr} , pelo coeficiente de importância, γ_1 . Na Tabela 16 apresentam-se as quatro classes de importância distintas previstas no EC8. A cada classe de importância corresponde um coeficiente de importância, γ_1 , definidos no Anexo Nacional do EC8 apresentados na Tabela 17.

Tabela 16: Classes de importância para os edifícios, segundo o EC8 [9].

Classe de Importância	Edifícios
I	Edifícios de menor importância para a segurança pública.
II	Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso.
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil.

Tabela 17: Valores do coeficiente de importância em função da classe de importância do edifício para os dois tipos de ação sísmica, segundo o EC8 [9].

Classe de Importância	Ação sísmica Tipo 1	Ação sísmica Tipo 2	
		Continente	Açores
I	0,65	0,75	0,85
II	1,00	1,00	1,00
III	1,45	1,25	1,15
IV	1,95	1,50	1,35

4.5. Classes de Ductilidade

As secções de betão armado são constituídas por aço e betão, cujas características são muito distintas. O betão apresenta um comportamento relativamente frágil à tração devido à sua heterogeneidade e alguma ductilidade em compressão, enquanto o aço, de características mais homogêneas, contribui significativamente para conferir a ductilidade necessária às secções. Quando um elemento estrutural entra em rotura, a estrutura deve garantir capacidade de plastificação suficiente para continuar a suportar as cargas a que se encontra sujeita, de modo a que a estrutura admita grandes deformações antes de colapsar, ou seja, apresente um comportamento dúctil [15]. Portanto, a ductilidade é uma propriedade que se encontra relacionada com a capacidade de plastificação.

De acordo com o preconizado no EC8 os elementos estruturais devem resistir às forças laterais de projeto da ação sísmica, e, para tal, devem ser devidamente calculados e pormenorizados. Estas exigências, que passam pela identificação das zonas críticas onde se poderão originar rótulas plásticas, visam assegurar que os elementos estão dotados de capacidade de deformação para resistirem a tipos de rotura com comportamento não dúctil. Segundo o EC8-5.2.3.4-(1), para assegurar a ductilidade global requerida para a estrutura, as zonas de formação de rótulas plásticas devem possuir uma elevada capacidade de rotação plástica.

Em secções de betão armado, a ductilidade assegura-se, em grande parte, pelo confinamento do betão, assim, é uma característica essencialmente garantida pelas armaduras e está relacionada com a capacidade de absorção de energia, que depende da capacidade de deformação plástica do aço até que seja atingida a rotura do material. A importância desta característica cresceu consideravelmente nos últimos anos, não só devido ao facto de atualmente existir um maior conhecimento sobre o comportamento real das estruturas, mas também devido aos níveis de exigência para o dimensionamento estrutural impostos pelo EC8.

Esta evolução a nível regulamentar ocorreu devido à melhoria das características de resistência dos betões e com o aparecimento de aço com melhores características de resistência, aderência e ductilidade. A ductilidade assume uma maior importância, sendo necessário ter em especial atenção o tipo de armadura utilizada para que as secções apresentem uma ductilidade adequada e cumpram as exigências previstas, apresentando uma adequada segurança em estruturas situadas em zonas de atividade sísmica [16].

A diversa regulamentação propõe a utilização de determinados níveis de ductilidade, cuja utilização pretende garantir que nas zonas críticas dos elementos resistentes exista a ductilidade

necessária para que possam desenvolver-se mecanismos estáveis devido à libertação de energia, garantindo que a estrutura possui adequada capacidade de dissipação de energia. Deste modo, é possível conferir à estrutura uma adequada capacidade de dissipação de energia sem redução da sua resistência global, evitando roturas frágeis indesejáveis. A utilização dos níveis de ductilidade representa um controlo mais rigoroso do comportamento sísmico da estrutura em regime não linear e com elevada dissipação de energia.

O EC8 considera três classes de ductilidade (baixa, média e alta), enquanto o RSA define apenas duas (normal e melhorada). Os níveis de ductilidade baixa e média do EC8 correspondem, aproximadamente, à ductilidade definida no RSA como normal e melhorada, respetivamente. O nível de ductilidade alta não tem equivalência no RSA. Em função dos diferentes níveis de ductilidade utilizam-se valores diferentes para o coeficiente de comportamento, q .

O projeto sísmico para ductilidade baixa (DCL) é apenas recomendado em zonas de baixa sismicidade, mas pode ser considerado com alguma tolerância, limitando a sua utilização a edifícios regulares e de classe de importância não superior a II. Este nível de ductilidade é garantido através dos elementos estruturais (e não através da ductilidade da estrutura) e tem um coeficiente de comportamento de 1,5. No caso de uma estrutura de ductilidade média (DCM), onde a estrutura apresentará elevados níveis de plasticidade, são impostos requisitos para o dimensionamento e pormenorização. Neste caso, o coeficiente de comportamento é elevado e está associado às exigências de confinamento e de não rotura devido ao esforço transversal. Para a classe de ductilidade alta (DCH), a estrutura exhibe também elevados níveis de plasticidade e existem exigências ainda mais complexas do que para a classe anterior. O EC8 define requisitos mínimos que os materiais estruturais devem possuir, em função do nível de ductilidade considerado no projeto sísmico, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Requisitos mínimos relativos aos materiais estruturais, segundo o EC8 [9].

Nível de Ductilidade	DCL	DCM	DCH
Classe do betão	-	$\geq C16/20$	$\geq C20/25$
Classe do aço	B ou C	B ou C	C
Varões longitudinais	-	Nervurados	Nervurados
Tensão de cedência do aço	-	-	$f_{yk,0.95} \leq 1,25f_{yk}$

Para níveis DCM e DCH, o EC8 apresenta restrições no dimensionamento de vigas e pilares que devem cumprir os requisitos do cálculo pela capacidade real. No que concerne à quantidade de armadura, para DCM, no caso de vigas é requerido que no extremo das vigas a armadura

longitudinal de uma face seja pelo menos 50% da face contrária, e, no caso de pilares, a quantidade geométrica de armadura vertical deverá ser maior que 1% e menor que 4% da secção transversal do pilar.

No nível DCL aplicam-se os critérios do EC2 para o dimensionamento da estrutura ao nível das disposições relativas às armaduras para a combinação de dimensionamento sísmico. No Anexo C desta norma encontram-se descritos os requisitos relativos às propriedades das armaduras de betão armado e as características de ductilidade estabelecidas para as três classes de aço A, B e C, que correspondem, respetivamente, a aços de ductilidade normal, alta e especial. A adequabilidade das armaduras é determinada através da relação entre a resistência à tração e a tensão de cedência (f_t/f_y) e pela extensão na carga máxima (ϵ_{uk}), apresentada na Tabela 19.

Tabela 19: Propriedades das armaduras, segundo o EC2 [5].

Parâmetro	Ductilidade normal (A)	Ductilidade alta (B)	Ductilidade especial (C)
f_t/f_y	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$
ϵ_{uk} (%)	$\geq 2,5$	≥ 5	$\geq 7,5$

No Art.º 21 do REBAP são especificados os tipos de armaduras e as características que os varões de aço devem apresentar para que sejam considerados adequados, no entanto, não propõe nenhuma classificação quando à sua ductilidade. Assim, a determinação das características das armaduras deve ser efetuada de acordo com o disposto nas Especificações LNEC aplicáveis. Comparativamente com as especificações definidas no EC2, o aço A500 ER corresponde a um aço de ductilidade A, os aços A400 NR ou A500 NR correspondem a aços de ductilidade B e, por fim, os aços A400 NR SD ou A500 NR SD de ductilidade especial correspondem a aços de ductilidade C.

4.6. Dimensionamento por Capacidade

O comportamento de um edifício durante a atuação de um sismo depende da eficiência do mecanismo de dissipação da energia absorvida e, por isso, as zonas críticas por onde ocorrerá a dissipação da energia deverão ser bem concebidas, pormenorizadas e executadas, para que possam acomodar a ductilidade adotada no dimensionamento. As disposições a cumprir destinam-se a aumentar a eficiência do mecanismo de dissipação através da forma como é aproveitada a capacidade resistente dos elementos estruturais, para que seja tirado o máximo partido da configuração estrutural.

Esta nova abordagem é recomendada pelo EC8 para estruturas de média e alta ductilidade. Devido à incapacidade de prever as particularidades dos movimentos sísmicos, torna-se necessário assegurar a deformação da estrutura através do controlo do surgimento das zonas das rótulas plásticas, tornando-se possível garantir que a estrutura terá a ductilidade e capacidade de dissipação de energia necessárias permitindo que a mesma seja dotada de um comportamento mais dúctil. Assim, nas zonas das estruturas onde é pretendido que surjam rótulas plásticas, a estrutura é dimensionada para os esforços de cálculo, garantindo uma ductilidade adequada, e nas restantes zonas onde se pretende um comportamento elástico, é realizado um sobredimensionado, de modo a que quando os esforços resistentes estejam a atuar nas zonas de formação de rótulas, as restantes zonas se encontrem em regime elástico, permitindo o comportamento não linear desejado [11].

4.7. Rigidez dos Elementos

O módulo de elasticidade a considerar nos materiais dos elementos estruturais é outro parâmetro que influencia a resposta da estrutura em situações de ação sísmica.

Segundo REBAP (Art.º 17) a rigidez do betão pode em geral ser estimada a partir do valor médio da tensão de rotura e, no caso de deformações muito rápidas, os valores do módulo de elasticidade a adotar podem ser estimados aumentando em 25% o seu valor médio, correspondente a módulos de elasticidade secantes.

No entanto, o EC8-4.3.1 impõe que, numa análise baseada em espectro de resposta, a rigidez dos elementos resistentes deve ser avaliada tendo em conta o efeito da fendilhação. Na modelação, essa rigidez corresponde ao início da cedência das armaduras. Porém, na ausência de dados mais precisos relativos aos elementos fendilhados, o EC8 permite que a rigidez dos elementos seja igual a 50% da rigidez correspondente dos elementos não fendilhados. A redução proposta poderá não corresponder a um valor pelo lado da segurança e ser insuficiente em casos em que, devido ao fenómeno da fendilhação, a resistência possa ser inferior a 50% da rigidez inicial, ou excessiva em casos onde que o estado de fendilhação não implique uma redução tão forte da rigidez da estrutura [17].

Na antiga regulamentação, o aumento da rigidez dos elementos é justificado pelo facto da ação sísmica ser uma ação rápida, devendo a rigidez da estrutura ser superior à elástica. No entanto, sabe-se que a ação sísmica se caracteriza por ser uma ação cíclica que acaba por originar o fenómeno da fendilhação nas estruturas, reduzindo a rigidez das mesmas. A consideração da

rigidez elástica é uma hipótese conservativa, uma vez que a frequência fundamental da estrutura será maior e, conseqüentemente, os esforços obtidos pelo espectro de resposta serão superiores. Contudo, ao simular o comportamento da estrutura pretende-se que este seja representativo da realidade e a consideração de maior rigidez não é realista [13].

4.8. Recobrimento das Armaduras

A função do recobrimento das armaduras, tanto segundo o REBAP como segundo o EC2, é semelhante. Em ambos os regulamentos, o recobrimento das armaduras deverá assegurar a proteção das armaduras contra a corrosão e também a transmissão de forças entre a armadura e o betão. Assim, o REBAP (Art.º 78) e o EC2 consideram que o recobrimento mínimo deve satisfazer condições ambientais e requisitos de aderência.

Capítulo 5

Análise Global de Dimensionamento de uma Amostra de Edifícios

Neste capítulo, a amostra de edifícios definida no Capítulo 3, que varia tanto em configuração estrutural como em número de pisos, foi dimensionada segundo a regulamentação em duas fases de cálculo distintas. Assim, aos projetos selecionados foram aplicados os diferentes regulamentos e normas de dimensionamento de elementos de betão armado e de ação sísmica, referidas no Capítulo 4. Numa primeira fase, os edifícios foram calculados segundo o REBAP aplicado em conjunto com o RSA e, numa segunda fase, procedeu-se ao cálculo segundo o EC2 em conjunto com o EC8.

A análise global de dimensionamento concentrou-se particularmente nos resultados obtidos do cálculo, relativamente às quantidades de aço para as combinações de dimensionamento mencionadas no Capítulo 4. Com estas condicionantes, a análise pretende avaliar a influência da aplicação de cada um dos regulamentos aos edifícios no projeto corrente, por forma a comparar os valores obtidos. Salienta-se ainda que a geometria das secções manteve-se constante, pelo que a quantidade de betão é a mesma em ambos os casos. Com base na análise global de dimensionamento identificaram-se e quantificaram-se indicadores de projeto de edifícios em betão armado.

5.1. Aspetos Gerais de Cálculo

No presente documento seguiu-se a análise segundo as duas vertentes: para o dimensionamento dos vários elementos estruturais de betão armado utilizou-se o REBAP e o EC2, enquanto se adotou o RSA e o EC8 para a definição da ação sísmica. Posteriormente, foram analisados os resultados relativos a quantidades de aço (kg). Assim, em termos comparativos, os resultados obtidos dependem da regulamentação para o betão armado e da respetiva regulamentação sísmica aplicada (Figura 22).

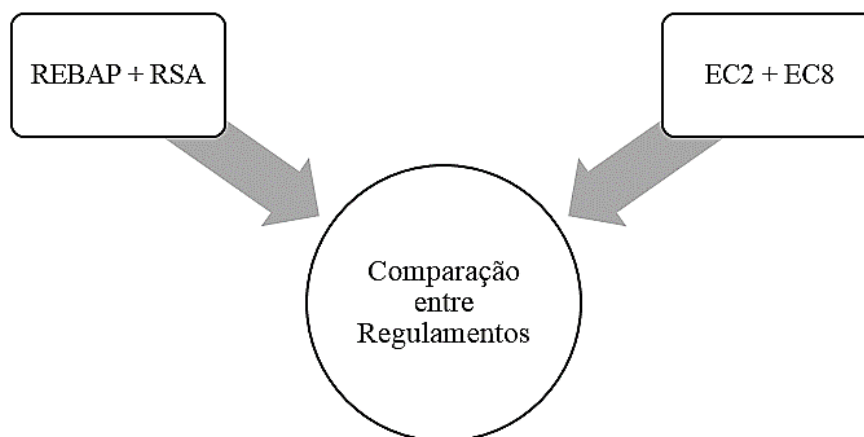


Figura 22: Esquematização do processo de cálculo adotado para a comparação de resultados obtidos segundo as regulamentações em análise.

Na generalidade, a base de dados utilizada apresentava-se preparada para os regulamentos REBAP e RSA. Para realizar o cálculo das mesmas obras segundo as normas europeias foi necessário efetuar uma validação dos dados para permitir a compatibilidade do cálculo dos edifícios. Constatou-se que alguns parâmetros, como o recobrimento, os critérios de armadura devidos à ductilidade e o zonamento sísmico, influenciavam significativamente os resultados finais, tendo-se verificado a necessidade de um estudo mais pormenorizado dos mesmos e a comparação entre os critérios da antiga e da nova regulamentação e do software CYPECAD.

Ao nível dos aspetos gerais de cálculo, foi necessário intervir na passagem dos regulamentos para as novas normas europeias, ou seja, foi necessário efetuar a correspondência e validação dos respetivos dados. Relativamente à definição do zonamento sísmico, como o objetivo era manter as zonas sísmicas definidas pelos utilizadores, foi estabelecida uma correspondência entre as zonas sísmicas segundo o RSA e o EC8. Visto que não era conhecida a localização exata dos edifícios, primeiramente, selecionou-se o concelho principal de cada zona sísmica definida no RSA, cujo fator de seleção foi a população residente no distrito em questão, de acordo com os resultados definitivos dos Censos 2011 [6], segundo o âmbito geográfico da NUTS II. Assim, através da comparação da população residente em cada distrito, a cada zona sísmica definida segundo o RSA foi atribuído o distrito mais populoso, a sombreado na Tabela 20.

A título de exemplo da equivalência estabelecida entre a regulamentação em análise, no caso de uma obra previamente calculada com o RSA, localizada numa zona sísmica A, na passagem para o EC8, a zona sísmica a atribuir será a referente ao concelho de Lisboa correspondente a

uma ação sísmica com o valor de 1,3 para a Ação sísmica Tipo 1 e 2,3 para a Ação sísmica Tipo 2. Na Tabela 21 encontram-se expostos os paralelismos estabelecidos para todas as equivalências definidas e nas Figuras 23 e 24 é possível observar as opções correspondentes no software CYPECAD.

Tabela 20: População residente em 2011 por distrito, segundo os Censos 2011 [6].

Zona Sísmica (RSA)	Distrito	População Residente (2011)
A	Beja	35 854
	Faro	64 560
	Lisboa	2 821 477
	Setúbal	121 185
B	Évora	56 596
	Leiria	126 897
	Santarém	62 200
	Portalegre	24 930
C	Aveiro	78 450
	Castelo Branco	56 109
	Coimbra	143 396
	Viseu	99 274
D	Braga	181 494
	Bragança	35 341
	Guarda	42 541
	Porto	237 591
	Viana do Castelo	88 725
	Vila Real	51 850

Tabela 21: Zona sísmica a atribuir por distrito na correspondência entre regulamentos.

Distrito	Zonas Sísmicas (RSA)	Zona Sísmica (EC8)	
		Tipo 1	Tipo 2
Lisboa	A	1,3	2,3
Leiria	B	1,5	2,4
Coimbra	C	1,6	2,4
Porto	D	1,6	2,5

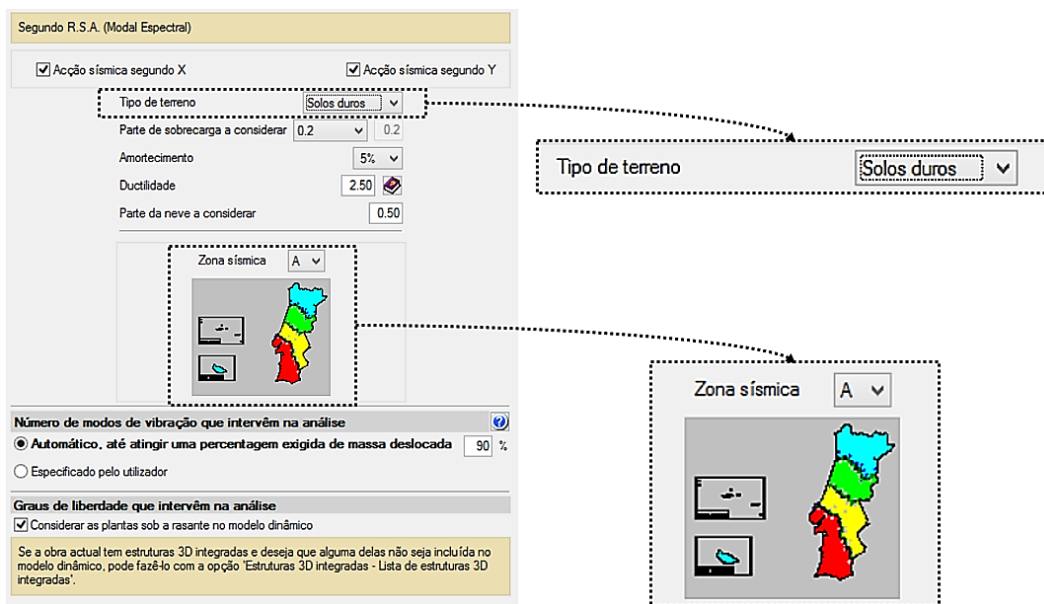


Figura 23: Definição da ação sísmica segundo o RSA no software CYPECAD.

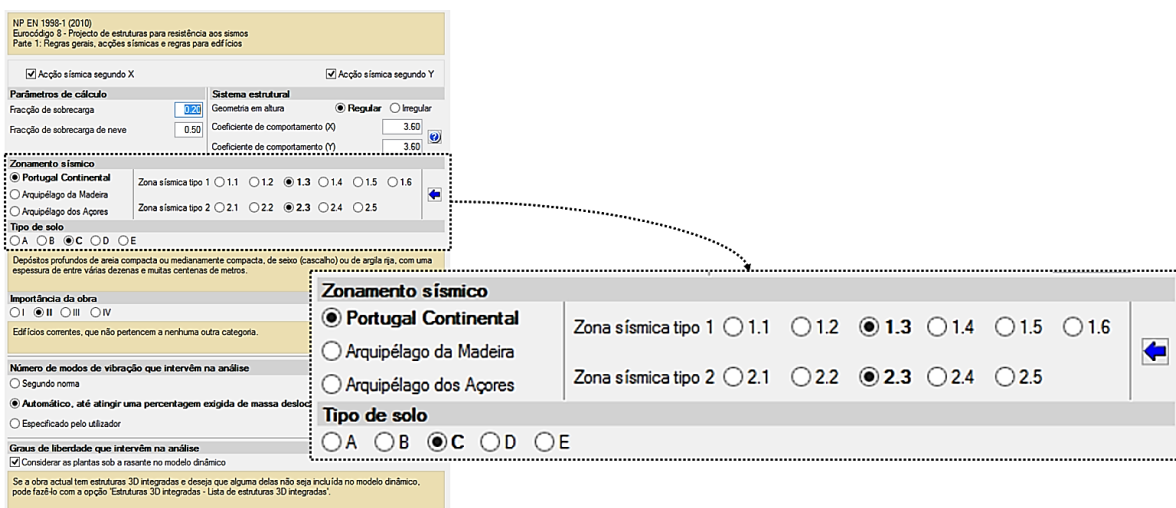


Figura 24: Definição da ação sísmica de acordo com o EC8 no software CYPECAD.

Relativamente ao recobrimento das armaduras no software CYPECAD, seleccionando o REBAP como a regulamentação a utilizar no dimensionamento do betão armado, vem pré-definido o valor de 2,0 cm de recobrimento mínimo, para vigas e pilares. Na transformação em EC2, automaticamente, o software assume um valor de 3,0 cm. Deste modo, um dos parâmetros mantidos na transformação de normas foi o recobrimento mínimo de armaduras, em que para o cálculo de todas as obras foi adotado um valor de 2,0 cm (Figura 25).

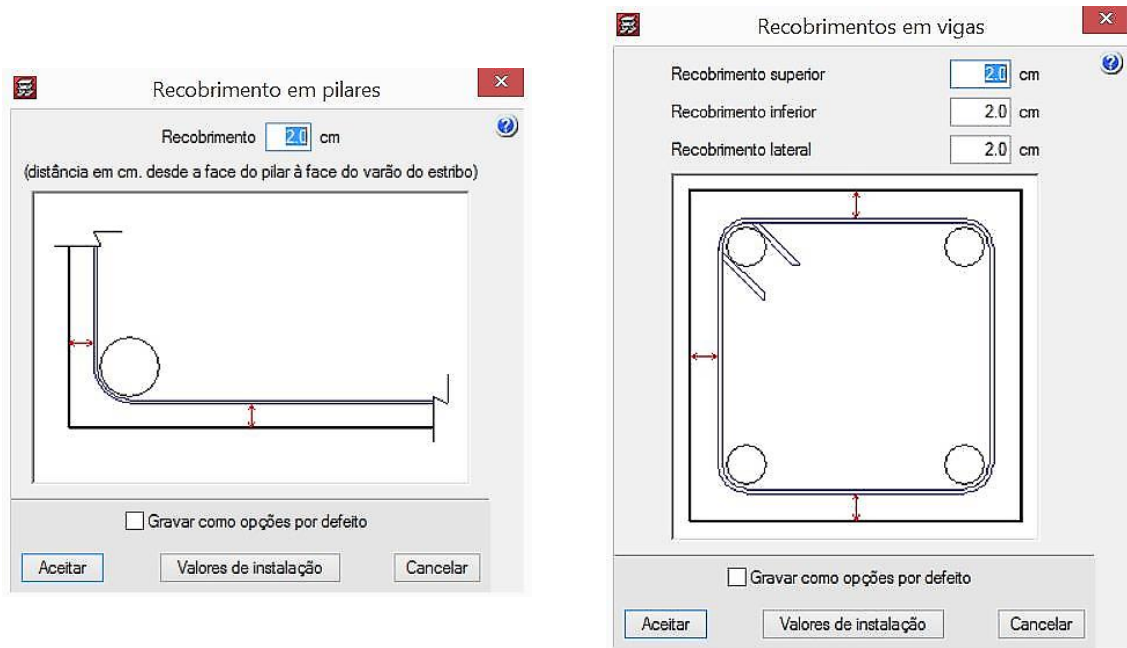


Figura 25: Definição do recobrimento mínimo de armaduras em pilares (à esquerda) e em vigas (à direita) no software CYPECAD.

No que diz respeito à definição da classe de ductilidade, é muito importante que na validação dos dados preparados para o dimensionamento segundo o RSA seja definida a sua correta correspondência em EC8, garantido um nível de ductilidade para a estrutura compatível com o valor do coeficiente de comportamento considerado no seu dimensionamento. Visto que a amostra geral de edifícios estava preparada pelos seus utilizadores para a combinação REBAP+RSA, no estabelecimento da respetiva correspondência em EC8, para garantir um nível de ductilidade equivalente, definiu-se que a ductilidade normal, segundo o RSA, seria correspondente à ductilidade baixa, de acordo com o EC8 (Figura 26).

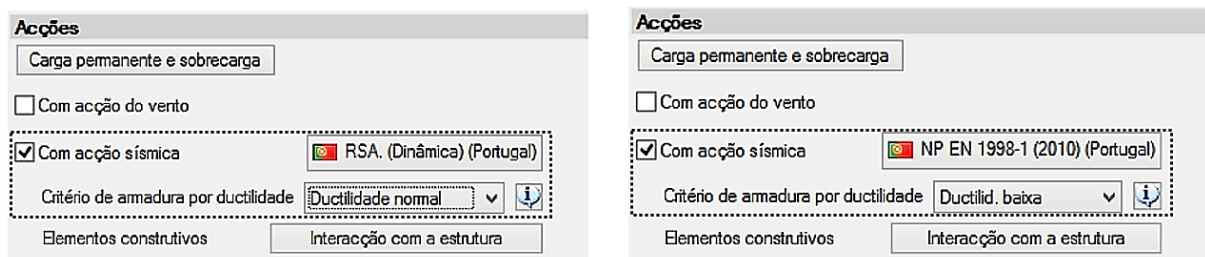


Figura 26: Definição do critério de ductilidade segundo o RSA (à esquerda) e segundo o EC8 (à direita) no software CYPECAD.

5.2. Redefinição da Amostra Geral de Edifícios

De modo a entender a influência da seleção de cada combinação de regulamentação na quantidade de aço, numa primeira fase, calcularam-se todos os projetos da amostra geral de edifícios segundo o REBAP+RSA e, numa segunda fase, segundo a combinação EC2+EC8. Após o cálculo dos projetos integrantes da amostra geral de edifícios procedeu-se a uma análise dos dados obtidos por edifício, com o objetivo de detetar quantidades de aço que apresentassem uma grande discrepância em relação aos restantes valores dos edifícios com o mesmo número de pisos.

Com base nas discrepâncias observadas, concluiu-se que era necessário reavaliar a seleção de edifícios feita anteriormente para aferir as características de cada projeto estrutural, de modo, a que a amostra geral de edifícios fosse constituída por projetos que apresentassem características geométricas mais homogéneas. Ao longo deste processo verificou-se que alguns dos edifícios da base de dados encontravam-se numa fase de pré-dimensionamento e, por isso, com incompatibilidades geométricas com as normas em análise e desadequadas para resistir às ações a que estarão sujeitas, devido à fragilidade estrutural que apresentavam. Nestes casos, o software CYPECAD deteta erros de dimensionamento, que podem ser erros de modelação ou de dimensionamento nos elementos estruturais e, uma vez que se pretendia utilizar a obra tal como foi definida pelo utilizador, ou seja, sem a correção deste tipo de erros, estes projetos foram excluídos da amostra geral de edifícios.

Deste modo, foi necessário definir critérios para detetar os edifícios que, por se encontrarem numa fase de pré-dimensionamento, pudessem afetar a fiabilidade dos resultados obtidos do cálculo da amostra geral de edifícios. As variações geométricas nos diversos elementos, para além de tornar a forma do edifício mais complexa, influenciam nos valores do consumo de aço. Assim, procurou-se evitar edifícios que apresentassem vigas e/ou pilares com larguras inferiores a 20 e 25 cm, respetivamente, e que não se encontrassem uniformizadas por pavimento.

Excluídos os edifícios que não verificavam as restrições geométricas, realizou-se uma comparação entre a quantidade de aço obtida com o dimensionamento por REBAP+RSA e por EC2+EC8. Naturalmente, os edifícios que apresentavam valores demasiado elevados foram alvo de uma análise mais aprofundada ao nível dos erros apresentados no software CYPECAD para averiguar a causa da diferença na quantidade de consumo de aço e se seria, então, um caso a ser eliminado da amostra geral. Deste modo, o processo de exclusão seguiu-se com a análise

dos erros detetados pelo software CYPECAD. Tanto no caso das vigas como dos pilares, detetaram-se situações adicionais, reportadas com avisos, em que as secções de betão foram identificadas como sendo insuficientes durante o cálculo e, por isso, não foram armadas. Como a resolução destes erros passaria por aumentar a altura ou a largura dos elementos em questão, estes erros foram adotados como parâmetros de exclusão.

Com estes parâmetros de exclusão resultou a amostra geral final de edifícios constituída por 15 edifícios por número de pisos e que pode ser consultada no Anexo B.

5.3. Indicadores Médios de Consumo

A definição dos indicadores de projeto pretende identificar características dos edifícios e critérios de projeto que contribuam para o aumento ou redução do consumo de materiais. O objetivo não é apresentar a solução ideal, mas apresentar resultados para um determinado tipo de edifício que possam ser utilizados para estimativa orçamental e caracterização de valores esperados. Deste modo, os resultados obtidos podem ser utilizados como parâmetros de referência na tomada de decisão quanto ao sistema estrutural mais adequado, tanto em aspetos técnicos como económicos.

Um indicador médio trata-se de uma aproximação que será utilizado na construção de uma estrutura com determinadas características, cuja comparação com outros indicadores permite um controlo mais eficiente da qualidade do projeto e rentabilidade dos materiais e a deteção atempada de possíveis erros, bem como, a definição de estratégias de prevenção e correção dos mesmos. Quanto menor for o resultado do indicador de consumo de material, maior o grau de otimização do projeto. No entanto, é necessário ter em consideração o tipo de estrutura utilizado e a modelação estrutural proposta, entre outros fatores, que exercem influência sobre as quantidades de materiais necessários para a estrutura. Outro aspeto relevante a discutir, que ultrapassa o âmbito da presente dissertação, é a relação entre aumento de custo da estrutura e aumento de segurança para estados limites últimos, melhoria de desempenho em serviço e robustez. A redução máxima do custo da estrutura, cumprindo os limites regulamentares, não corresponde necessariamente a uma solução ótima, quando avaliadas as consequências de danos ou colapsos.

Nesta secção são quantificadas as quantidades de materiais de projeto dos vários edifícios em análise, com base nos quais se obtiveram os indicadores médios de consumo. Assim, a definição dos indicadores médios de consumo baseou-se na amostra geral de edifícios definida com um

número de 15 obras para cada piso e respetivo cálculo de quantidades de betão e aço, nomeadamente, o volume de betão utilizado, a quantidade de varões de aço necessários para armar vigas e pilares e a respetiva cofragem. Os valores são diferentes dos indicados no Capítulo 3, uma vez que a mostra é agora mais reduzida e mais fiável, atendendo que edifícios com conceção inadequada foram retirados da amostra.

Após o cálculo dos modelos com recurso ao software CYPECAD, foram recolhidos dados relativos à área total de construção do edifício (m^2), volume de betão (m^3) e quantidade de aço (kg) em vigas e pilares. Com estes dados foi possível definir os indicadores de consumo para cada edifício e, de um modo mais geral, os indicadores médios de consumo para o conjunto de edifícios com o mesmo número de pisos. Note-se que o volume de betão e a quantidade de armadura dos elementos de fundação e escadas não foram considerados, pois esta análise levaria em consideração parâmetros que se afastam do âmbito deste estudo. De seguida, apresentam-se três tipos de indicadores médios de consumo que foram calculados conforme a descrição que se segue nas Tabelas 22, 23 e 24.

Tabela 22: Indicadores médios de consumo de volume de betão (m^3/m^2).

Elemento	Indicador	Definição
Vigas	$Vigas = \frac{Vigas (m^3)}{Área Total (m^2)}$	Volume de betão em vigas por área total de construção.
Pilares	$Pilares = \frac{Pilares (m^3)}{Área Total (m^2)}$	Volume de betão em pilares por área total de construção.
Pórtico	$Pórtico = \frac{Vigas (m^3) + Pilares (m^3)}{Área Total (m^2)}$	Volume de betão em vigas e pilares por área total de construção.

Tabela 23: Indicadores médios de consumo de aço (kg/m^2).

Elemento	Indicador	Definição
Vigas	$Vigas = \frac{Vigas (kg)}{Área Total (m^2)}$	Quantidade de aço em vigas por área total de construção.
Pilares	$Pilares = \frac{Pilares (kg)}{Área Total (m^2)}$	Quantidade de aço em pilares por área total de construção.
Pórtico	$Pórtico = \frac{Vigas (kg) + Pilares (kg)}{Área Total (m^2)}$	Quantidade de aço em vigas e pilares por área total de construção.

Tabela 24: Indicadores médios de consumo de aço por m³ de betão (kg/m³).

Elemento	Indicador	Definição
Vigas	$Vigas = \frac{Vigas (kg)}{Vigas (m^3)}$	Quantidade de aço em vigas por m ³ de betão.
Pilares	$Pilares = \frac{Pilares (kg)}{Pilares (m^3)}$	Quantidade de aço em pilares por m ³ de betão.
Pórtico	$Pórtico = \frac{Vigas (kg) + Pilares (kg)}{Vigas (m^3) + Pilares (m^3)}$	Quantidade de aço em vigas e pilares por m ³ de betão.

5.3.1. Resultados

Nesta secção apresentam-se os resultados do dimensionamento obtidos para cada regulamentação aplicada, por número de pisos. O tratamento dos dados para a determinação dos indicadores médios de consumo baseou-se em métodos estatísticos e iniciou-se com a definição de um valor médio (média aritmética) dos resultados obtidos por obra, para cada número de piso. Este valor médio corresponde ao valor do indicador médio de consumo. Para que existisse uma proporção entre os indicadores médios encontrados, determinou-se o respetivo desvio padrão, que ajuda a compreender qual a dispersão entre os valores médios do REBAP+RSA e o EC2+EC8. Os resultados obtidos referentes aos consumos dos materiais (para consulta no Anexo C) e os indicadores médios de consumo (disponíveis no Anexo D) são apresentados nas tabelas que se seguem.

5.3.1.1. Consumo de Materiais

Tabela 25: Volume de betão consumido em vigas e pilares.

N.º de Pisos	Vigas (m ³)	Pilares (m ³)
1	26,7	11,2
2	36,1	15,2
3	25,3	11,3
4	116,6	52,9
5	79,4	53,4
6	112,8	131,0
7	172,0	129,7
8	200,0	151,1
Média	96,1	69,5
Desvio Padrão Global	38,0	39,4

Tabela 26: Quantidade de aço consumido em vigas e pilares.

N.º de Pisos	Vigas (kg)		Pilares (kg)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	2320	2242	1699	1578
2	3605	3395	3098	3054
3	2486	2446	2071	2211
4	11233	10925	9845	9729
5	9436	8880	9716	10077
6	11700	11008	17795	18197
7	16480	15093	19870	18511
8	20901	19723	25978	23551
Média	9770	9214	11259	10863
Desvio Padrão Global	3058	3122	4469	4144

5.3.1.2. Indicador Médio de Consumo de Volume de Betão

Tabela 27: Indicadores médios de consumo de volume de betão por m² de construção.

N.º de Pisos	Vigas (m ³ /m ²)	Pilares (m ³ /m ²)	Pórtico (m ³ /m ²)
1	0,0601	0,0271	0,0873
2	0,0492	0,0183	0,0676
3	0,0472	0,0218	0,0690
4	0,0535	0,0252	0,0787
5	0,0435	0,0311	0,0746
6	0,0376	0,0401	0,0777
7	0,0482	0,0352	0,0834
8	0,0495	0,0370	0,0865
Média	0,0486	0,0295	0,0781
Desvio Padrão Global	0,0036	0,0029	0,0037

5.3.1.3. Indicador Médio de Consumo de Aço

Tabela 28: Indicadores médios de consumo de aço por m² de construção em vigas e pilares.

N.º de Pisos	Vigas (kg/m ²)		Pilares (kg/m ²)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	5,3	5,3	4,1	3,7
2	5,0	5,0	3,7	3,8
3	4,7	4,6	4,0	4,2
4	5,2	5,0	4,8	4,8
5	4,9	4,6	5,3	5,7
6	4,0	3,7	5,8	6,0
7	4,9	4,5	5,8	5,5
8	5,5	5,1	6,6	6,0
Média	4,9	4,7	5,0	5,0
Desvio Padrão Global	0,4	0,4	0,4	0,4

Tabela 29: Indicadores médios de consumo de aço por m² de construção em pórtico.

N.º de Pisos	Pórtico (kg/m ²)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	9,4	9,0
2	8,7	8,7
3	8,7	8,8
4	10,0	9,8
5	10,2	10,2
6	9,8	9,7
7	10,7	10,0
8	12,1	11,1
Média	9,9	9,7
Desvio Padrão Global	0,7	0,5

5.3.1.4. Indicadores Médios de Consumo de Aço por m³ de Betão

Tabela 30: Indicadores médios de consumo de aço por m³ de betão em vigas e pilares (kg/m³).

N.º de Pisos	Vigas (kg/m ³)		Pilares (kg/m ³)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	88,4	88,1	174,7	163,7
2	103,0	100,6	199,1	201,2
3	101,9	99,5	194,6	201,2
4	100,6	98,1	214,2	206,0
5	124,9	116,2	180,3	188,9
6	106,1	102,1	151,3	155,9
7	103,0	93,9	183,8	176,4
8	111,4	103,0	185,9	173,6
Média	104,9	100,2	185,5	183,4
Desvio Padrão Global	11,2	9,2	24,8	16,8

Tabela 31: Indicadores médios de consumo de aço por m³ de betão em pórtico (kg/m³).

N.º de Pisos	Pórtico (kg/m ²)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	109,2	104,7
2	127,7	126,5
3	127,5	128,5
4	131,0	128,4
5	144,4	143,1
6	127,1	125,6
7	133,3	125,9
8	140,5	129,9
Média	130,1	126,6
Desvio Padrão Global	7,7	6,7

5.3.2. Análise de Resultados

Os indicadores encontrados referem-se a 15 projetos por piso da amostra geral de edifícios e focam-se apenas na análise de vigas e pilares. Os gráficos comparativos que se seguem representam a variação dos indicadores médios de consumo dos casos em análise, para os quais se determinou a média global.

Relativamente ao volume de betão consumido (Tabela 25), não é apresentada uma análise comparativa, visto que, os valores obtidos são iguais para ambas as combinações regulamentares. No consumo de aço em vigas e pilares, verificou-se uma pequena diferença percentual entre a diferente regulamentação. Na Tabela 26, que apresenta a quantidade de aço utilizada em vigas e pilares, observa-se que o valor obtido para vigas (Gráfico 10) segundo o REBAP+RSA é 6% superior relativamente à quantidade segundo o EC2+EC8. Nos pilares (Gráfico 11) observa-se a mesma situação, em que a quantidade de aço consumida segundo o REBAP+RSA é 4% superior à do EC2+EC8.

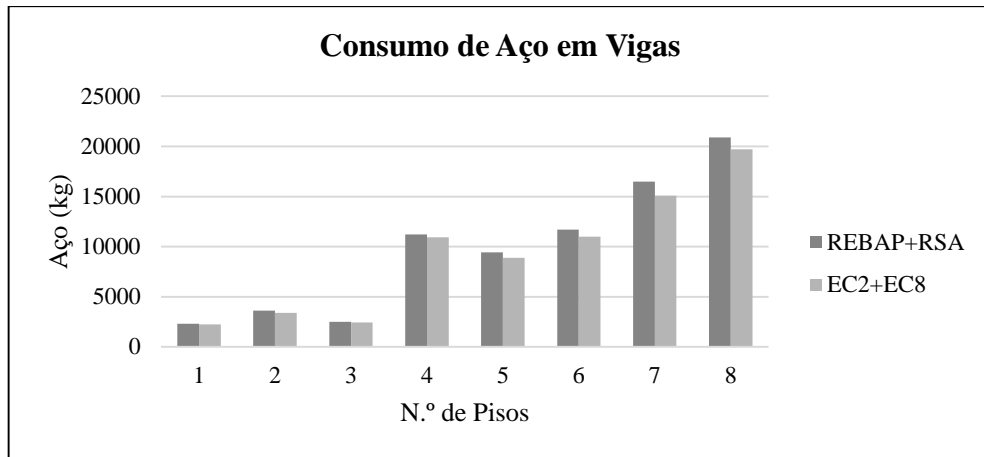


Gráfico 10: Comparação regulamentar da quantidade de aço consumido em vigas.

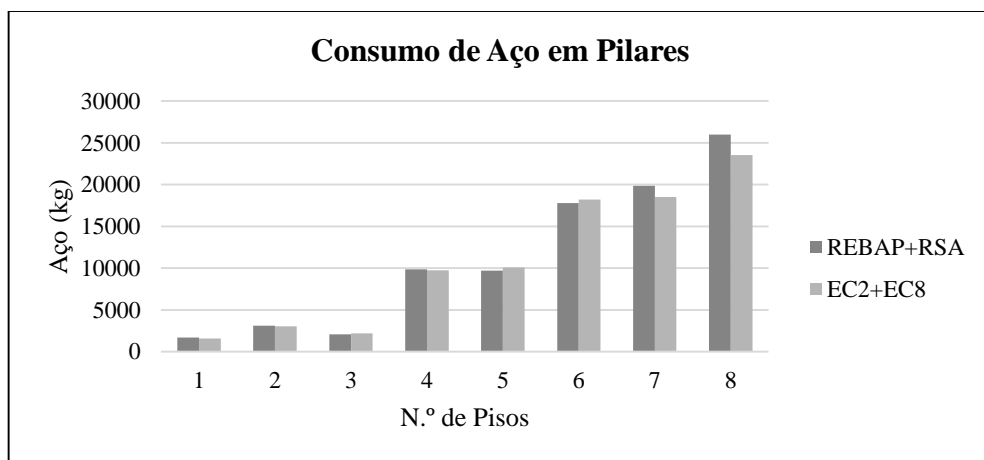


Gráfico 11: Comparação regulamentar da quantidade de aço consumido em pilares.

No que concerne aos indicadores médios de consumo de volume de betão por m² de construção (Tabela 27), não é apresentada uma análise comparativa, dado que, os valores obtidos são iguais para ambas as regulamentações. No que concerne aos indicadores médios de consumo de aço por m² de construção apresentados na Tabela 28, existe uma pequena variação percentual, quando comparando o dimensionamento das vigas segundo as regulamentações em análise. O dimensionamento segundo o REBAP+RSA é 5% superior quando comparado ao EC2+EC8, no caso das vigas (Gráfico 12) e, no caso dos pilares (Gráfico 13) observa-se que é cerca de 1% superior. Na Tabela 29 verifica-se que ao nível do pórtico (Gráfico 14) o dimensionamento segundo o REBAP+RSA é 3% superior do que o EC2+EC8.

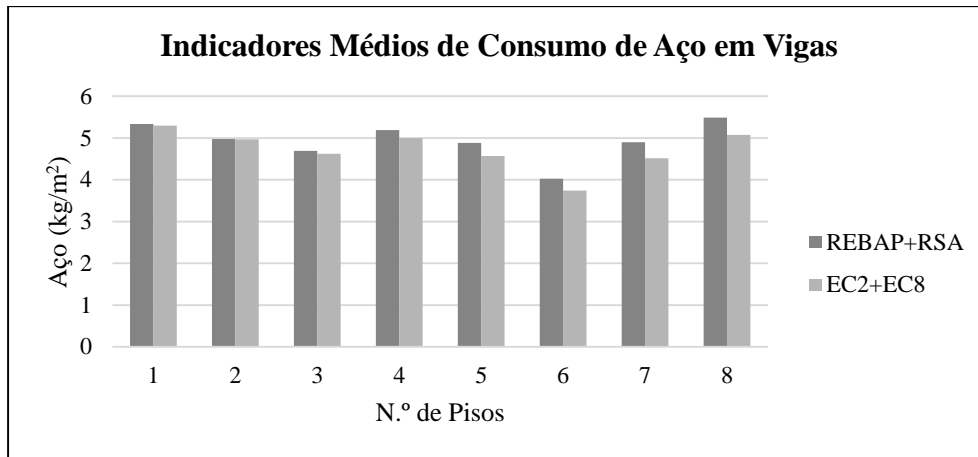


Gráfico 12: Comparação regulamentar dos indicadores médios de consumo de aço por m² de construção em vigas.

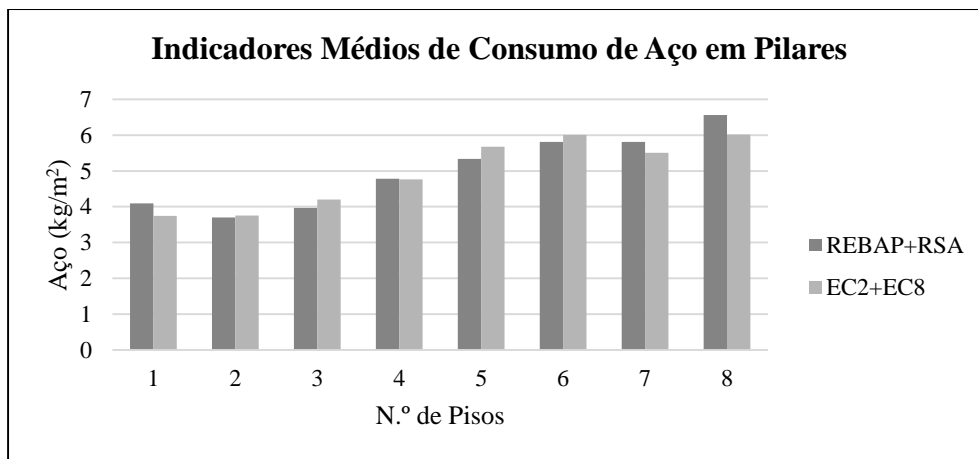


Gráfico 13: Comparação regulamentar dos indicadores médios de consumo de aço por m² de construção em pilares.

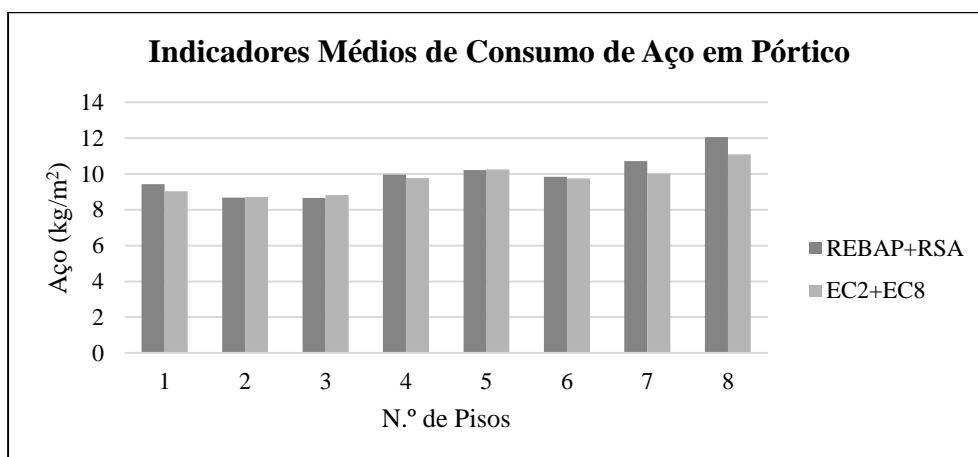


Gráfico 14: Comparação regulamentar dos indicadores médios de consumo de aço por m² de construção em pórticos.

Relativamente aos indicadores médios de consumo de aço por m^3 de betão, na Tabela 30 observa-se o resultado obtido segundo o REBAP+RSA é 5% superior ao EC2+EC8 em vigas (Gráfico 15), enquanto para pilares (Gráfico 16) não se observa variação percentual significativa. Na Tabela 31, que apresenta os resultados ao nível do pórtico (Gráfico 17), verifica-se que o dimensionamento segundo o REBAP+RSA é superior em cerca de 3% quando comparado com o EC2+EC8.

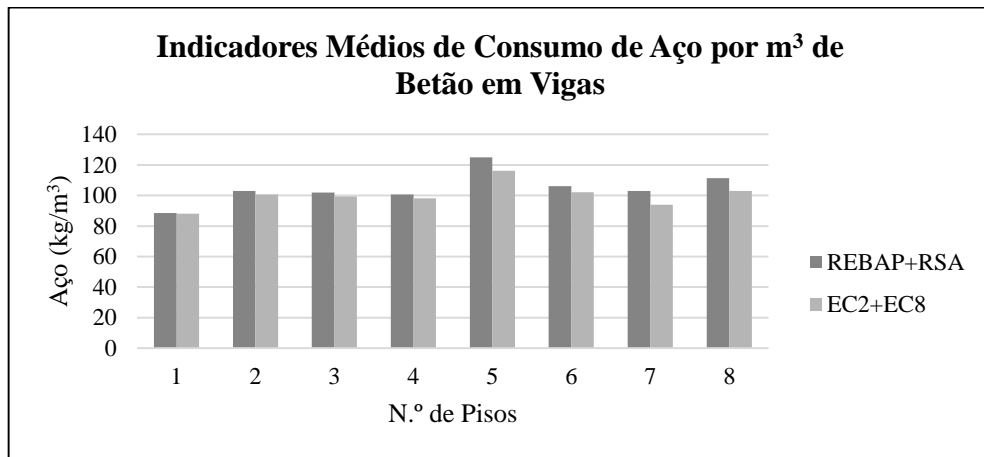


Gráfico 15: Comparação regulamentar entre os indicadores médios de consumo de aço por m^3 de betão em vigas.

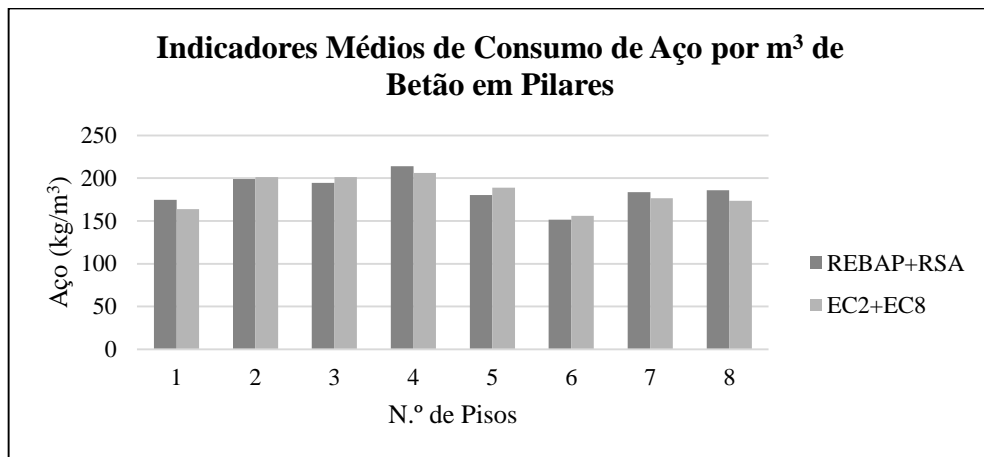


Gráfico 16: Comparação regulamentar entre os indicadores médios de consumo de aço por m^3 de betão em pilares.

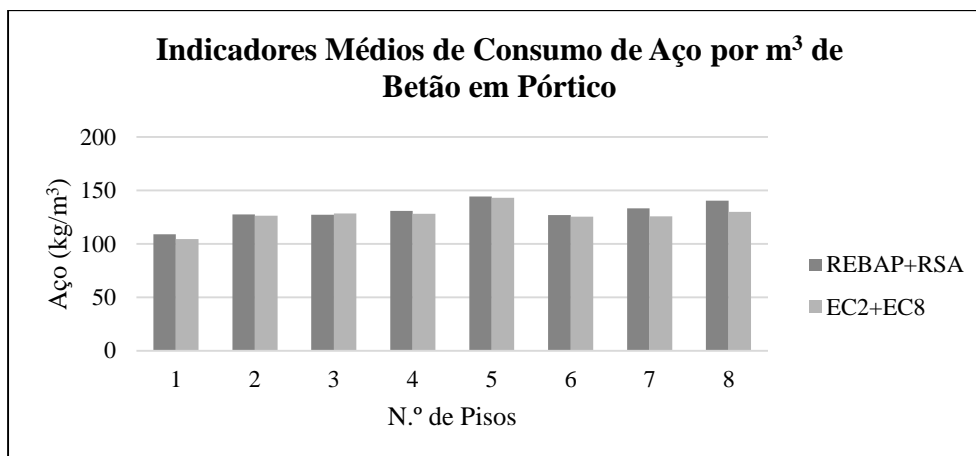


Gráfico 17: Comparação regulamentar entre os indicadores médios de consumo de por m³ de betão em pórtico.

No geral, observa-se que não existe uma relação linear direta dos consumos de materiais com a variação em altura dos edifícios e, conseqüentemente, a mesma relação também não existe com os indicadores médios. Esta situação era espectável, visto que existem diversos fatores que interferem na elaboração de um projeto estrutural e que justificam esta diferença, que vão desde a disposição de vigas e pilares adotadas a imposições de arquitetura. Devido à inexistência de uma relação linear dos resultados, chegou-se a um valor médio e desvio padrão global (designado simplifcadamente por D. P.) de consumo para cada indicador a adotar para vigas, pilares e pórticos, apresentados da Tabela 32 à Tabela 35 e nos gráficos que se seguem apresenta-se uma visão geral simplificada dos indicadores obtidos.

Tabela 32: Consumos médios globais de materiais.

Elemento Estrutural	Volume de Betão (m ³)		Quantidade de Aço (kg) REBAP+RSA		Quantidade de Aço (kg) EC2+EC8	
	Média	D. P.	Média	D. P.	Média	D. P.
Vigas	96,1	38,0	9770	3058	9214	3122
Pilares	69,5	39,4	11259	4469	10863	4144
Pórtico	165,6	-	21029	-	20077	-

Tabela 33: Indicador médio global de consumo de volume de betão.

Elemento Estrutural	Volume de Betão (m ³ /m ²)	
	Média	D. P.
Vigas	0,0486	0,0036
Pilares	0,0295	0,0029
Pórtico	0,0781	0,0037

Tabela 34: Indicador médio global de consumo de aço.

Elemento Estrutural	Aço (kg/m ²) REBAP+RSA		Aço (kg/m ²) EC2+EC8	
	Média	D. P.	Média	D. P.
Vigas	4,94	0,36	4,72	0,36
Pilares	5,01	0,42	4,96	0,43
Pórtico	9,94	0,70	9,68	0,48

Tabela 35: Indicador médio global de consumo de aço por m³ de betão.

Elemento Estrutural	Aço (kg/m ³) REBAP+RSA		Aço (kg/m ³) EC2+EC8	
	Média	D. P.	Média	D. P.
Vigas	104,93	11,21	100,18	9,20
Pilares	185,49	24,80	183,36	16,83
Pórtico	130,10	7,69	126,58	6,71

Relativamente ao consumo de aço geral (Gráfico 18), constata-se que a quantidade de aço consumida segundo o REBAP+RSA é 6% e 4% superior à quantidade consumida de acordo com o EC2+EC8 em vigas e pilares, respetivamente. Ao nível do pórtico, observa-se que a quantidade de aço consumida segundo o REBAP+RSA é 5% superior à quantidade obtida segundo o EC2+EC8.

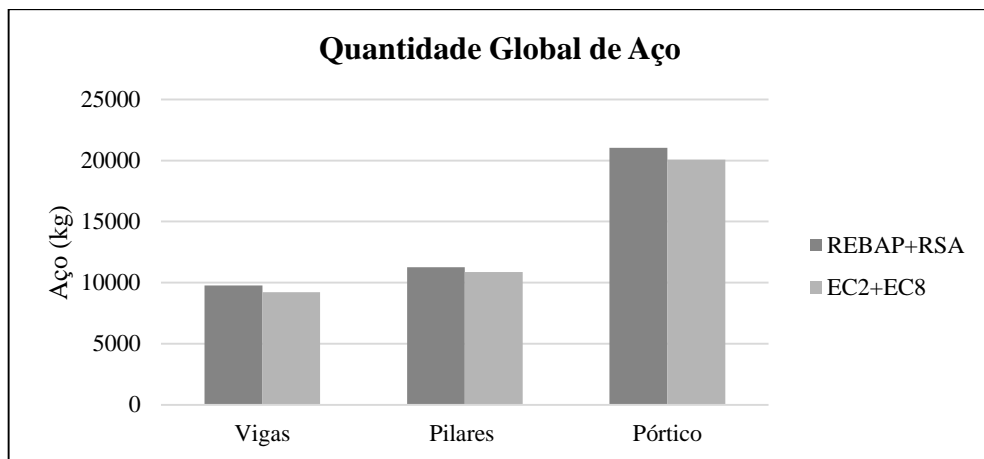


Gráfico 18: Quantidade global de aço consumida em vigas, pilares e por pórtico.

No que concerne ao indicador médio global de consumo de aço (Gráfico 19), observa-se que, no geral, a quantidade de aço consumida, segundo o REBAP+RSA, é 5% superior ao EC2+EC8 em vigas, não se observando variação ao nível dos pilares. Estes valores resultam numa variação ao nível do pórtico, em que o consumo de aço segundo o REBAP+RSA é superior em cerca de 3%.

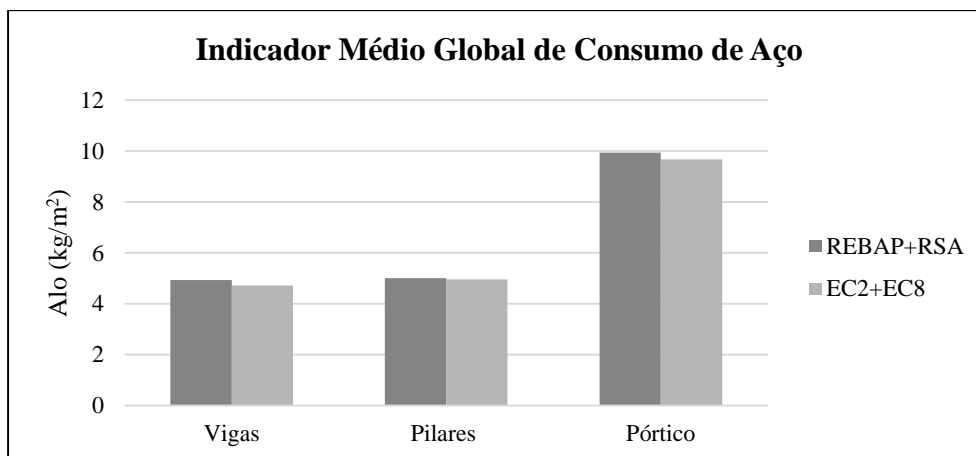


Gráfico 19: Indicador médio global de consumo de aço em vigas, pilares e por pórtico.

Ao nível do indicador médio global de consumo de aço por m^3 de betão (Gráfico 20), observa-se uma variação percentual no caso das vigas, onde o dimensionamento segundo o REBAP+RSA é 5% superior do que segundo o EC2+EC8 e, nos pilares, o valor é idêntico. Esta variação reflete-se nos resultados ao nível do pórtico, em que o valor global obtido para o REBAP+RSA superior em 3% quando comparado com o EC2+EC8.

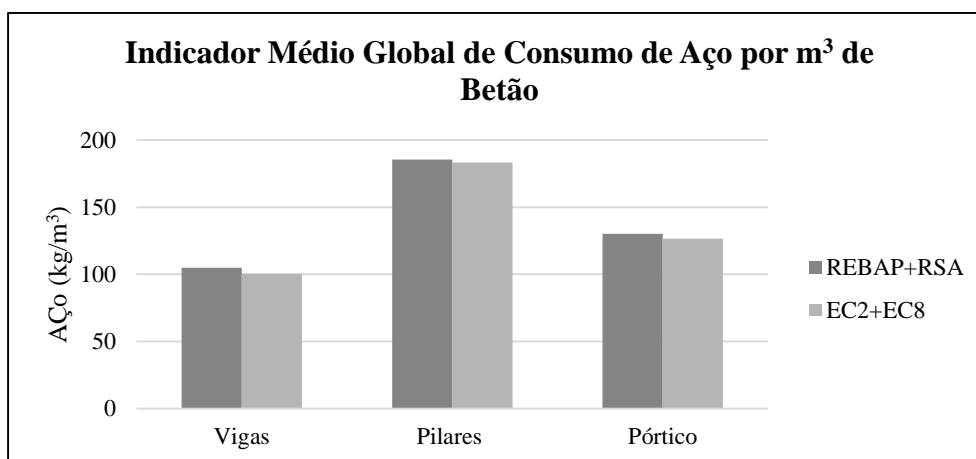


Gráfico 20: Indicador médio global de consumo de aço por m^3 de betão em vigas, pilares e por pórtico.

5.4. Custos Médios

Nesta secção pretende-se estabelecer uma relação entre os indicadores médios de consumo de materiais (betão e aço) e os respetivos custos para vigas e pilares, por número de pisos do edifício em causa. Este estudo é igualmente interessante, visto que, permite uma previsão e o controlo de custos para edifícios de acordo com o seu número de piso, possibilitando que ao

longo do processo construtivo possa existir um controlo de custos que não coloque em causa a qualidade da construção.

As importâncias utilizadas para a determinação dos custos médios dos elementos de betão armado, nomeadamente de vigas e de pilares, são apresentados nos Quadros 20, 21 e 22. Estes valores foram obtidos pelo software Gerador de Preços para construção civil, trata-se de uma base de dados paramétrica e interativa da CYPE Ingenieros, que permite ao utilizador obter o custo de um projeto atendendo aos materiais, equipamentos e processos construtivos selecionados. Esta base de dados contempla várias opções tipológicas, geográficas e económicas que influenciam o custo final da obra, ao mesmo tempo que integra produtos de fabricantes com todas as suas características.

Da composição do custo que o software Gerador de Preços apresenta, retirou-se informação relativa ao custo do sistema de cofragem (€/m²) por elemento estrutural (Tabela 36), ao custo do aço (€/kg) em varões nervurados por diâmetro (Tabela 37) e ao custo de betão (€/m³) por classe de resistência e localização em Portugal Continental (Tabela 38). O rendimento refere-se à quantidade de cada material (betão, aço ou cofragem) que é necessária para executar um m³ do elemento estrutural em questão.

Tabela 36: Custo de cofragem por m² de elemento estrutural.

Elemento Estrutural	Rendimento	Custo Unitário (€/m²)	Importância (€/m²)
Pilares	22,20	10,50	233,33
Vigas	3,50	22,40	78,40

Tabela 37: Custo do aço em varões nervurados.

Tipo	Elemento Estrutural	Rendimento	Custo Unitário (€/kg)	Importância (€/kg)
A400	Pilares	120	0,82	98,40
	Vigas	150		123,00
A500	Pilares	120	0,83	99,60
	Vigas	150		124,50

Tabela 38: Custo de betão por classe de resistência.

Localização	Classe de Resistência	Rendimento	Custo Unitário (€/m ³)	Importância (€/m ³)
Lisboa	C16/20	1,05	94,86	99,60
	C20/25		99,00	103,95
	C25/30		103,85	109,04
	C30/37		113,45	119,12
Leiria	C16/20		86,16	90,47
	C20/25		89,92	94,42
	C25/30		94,32	99,04
	C30/37		103,04	108,19
Coimbra	C16/20		89,78	94,27
	C20/25		93,70	98,39
	C25/30		98,28	103,19
	C30/37		107,37	112,74
Porto	C16/20		102,53	107,66
	C20/25		107,00	112,35
	C25/30		112,24	117,85
	C30/37		122,62	128,75

O custo total final de uma obra é composto por inúmeras variáveis complexas e de extenso detalhamento, por isso, a determinação de custos é algo que intrinsecamente apresenta alguma dificuldade. Neste estudo, primeiramente, estabeleceu-se o valor da importância do betão armado que resultou do produto entre o rendimento do recurso em questão (neste caso do betão, do aço ou da cofragem) e o custo unitário do respetivo recurso, e, por fim, multiplicou-se este valor pelas quantidades de betão e aço obtidas aquando do cálculo das obras. É importante referir que uma vez que existem custos fixos que não dependem do tipo de betão ou de aço (por exemplo: mão de obra, equipamentos de betonagem e vibração), estes não foram considerados no presente documento. Assim, obteve-se o custo dos elementos de cofragem, do betão e do aço para vigas e pilares e também o custo total (resultante do somatório do custo de cofragem, de betão e de aço) por m² de construção, referente à área total construída contabilizando os pisos elevados e pisos enterrados.

5.4.1. Resultados

De seguida, apresentam-se os custos médios obtidos para vigas e pilares e o respetivo custo total, por número de piso, para as diferentes opções regulamentares de dimensionamento estudadas. À semelhança do procedimento adotado para a definição dos indicadores médios de consumo, o tratamento dos dados para a determinação dos indicadores médios de consumo

baseou-se em métodos estatísticos. Assim, definiu-se um valor médio dos resultados obtidos por obra, que corresponde ao valor do custo médio por número de pisos, e determinou-se o respetivo desvio padrão, que mede a dispersão dos dados em relação ao valor médio, para ajudar a compreender melhor a variabilidade entre os valores médios segundo o REBAP+RSA e o EC2+EC8. Os resultados dos custos médios totais de cofragem, betão e aço foram obtidos separadamente para vigas, pilares e no seu total e são apresentados nas tabelas que se seguem. Encontram-se também disponíveis para consulta no Anexo E.

5.4.1.1. Custo Médio de Cofragem

Tabela 39: Custo médio da cofragem em vigas e pilares.

N.º de Pisos	Cofragem (€)	
	Vigas	Pilares
1	2092	2615
2	2827	3548
3	1981	2634
4	9145	12335
5	6227	12459
6	8847	30574
7	13482	30269
8	15681	35259
Média	7535	16212
Desvio Padrão Global	2978	9202

Tabela 40: Custo médio total da cofragem por m² de construção.

N.º de Pisos	Cofragem (€/m ²)
	Total
1	11,05
2	8,13
3	8,79
4	10,08
5	10,66
6	12,31
7	11,99
8	12,52
Média	10,69
Desvio Padrão Global	0,57

5.4.1.2. Custo Médio de Betão

Tabela 41: Custo médio do volume de betão em vigas e pilares.

N.º de Pisos	Betão (€)	
	Vigas	Pilares
1	2895	1219
2	3859	1642
3	2715	1198
4	12803	5784
5	8532	5696
6	12376	14541
7	18516	14086
8	21758	16414
Média	10432	7573
Desvio Padrão Global	4233	4433

Tabela 42: Custo médio total do volume de betão por m² de construção.

N.º de Pisos	Betão (€/m ²)
	Total
1	9,31
2	7,32
3	7,33
4	8,56
5	7,94
6	8,50
7	8,95
8	9,44
Média	8,42
Desvio Padrão Global	0,47

5.4.1.3. Custo Médio de Aço

Tabela 43: Custo médio da quantidade de aço consumida em vigas e pilares.

N.º de Pisos	Vigas (€)		Pilares (€)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	1906	1841	1395	1296
2	2957	2785	2541	2505
3	2041	2008	1701	1816
4	9239	8986	8096	8004
5	7770	7313	7999	8294
6	9644	9076	14682	15022
7	13525	12387	163245	15213
8	17191	16222	21375	19383
Média	8034	7577	9264	8942
Desvio Padrão Global	2506	2562	3675	3427

Tabela 44: Custo médio da quantidade de aço consumida no total por m² de construção.

N.º de Pisos	Total (€/m ²)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	7,74	7,42
2	7,12	7,15
3	7,11	7,24
4	8,20	8,03
5	8,42	8,44
6	8,11	8,04
7	8,79	8,23
8	9,91	9,13
Média	8,18	7,96
Desvio Padrão Global	0,58	0,39

5.4.1.4. Custo Médio de Betão Armado

Tabela 45: Custo médio de betão armado em vigas e pilares.

N.º de Pisos	Vigas (€)		Pilares (€)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	6893	6827	5229	5130
2	9643	9471	7731	7695
3	6737	6704	5533	5648
4	31186	30934	26215	26123
5	22530	22073	26154	26450
6	30867	30299	59797	60137
7	45523	44385	60679	59568
8	54630	53814	73049	71194
Média	26001	25563	33049	32743
Desvio Padrão Global	9365	9479	16765	16161

Tabela 46: Custo médio de betão armado por m² de construção.

N.º de Pisos	Total (€/m ²)	
	REBAP+RSA	EC2+EC8
1	28,10	27,77
2	22,57	22,60
3	23,23	23,36
4	26,85	26,68
5	27,01	27,03
6	28,92	28,84
7	29,73	29,17
8	31,85	31,11
Média	27,28	27,07
Desvio Padrão Global	1,22	0,98

5.4.2. Análise de Resultados

Os gráficos comparativos que se seguem representam a disposição dos indicadores médios de consumo dos casos em análise, para os quais se determinou a média global. No que concerne aos custos da cofragem e o volume de betão (Tabelas 39 a 42), visto que os valores obtidos são idênticos para ambas as combinações regulamentares, não é apresentada nenhuma comparação.

Relativamente ao custo médio de aço, na Tabela 43 observa-se que o valor do custo médio da quantidade de aço consumida segundo o REBAP+RSA é 6% e 4% superior do que o EC2+EC8, em vigas (Gráfico 21) e pilares (Gráfico 22), respetivamente. Esta diferença percentual origina um custo médio total de aço por m² de construção (Gráfico 23) de acordo com o REBAP+RSA superior em 3% ao EC2+EC8, observável na Tabela 44.

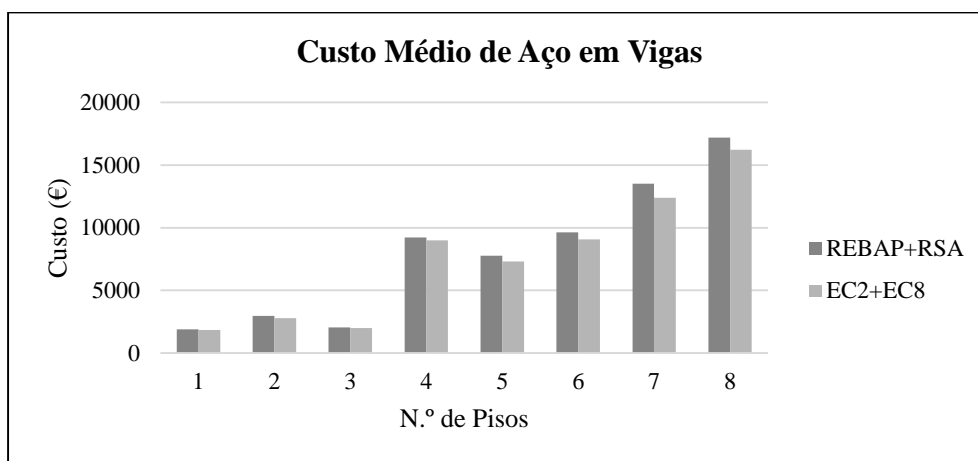


Gráfico 21: Comparação regulamentar do custo médio de aço em vigas.

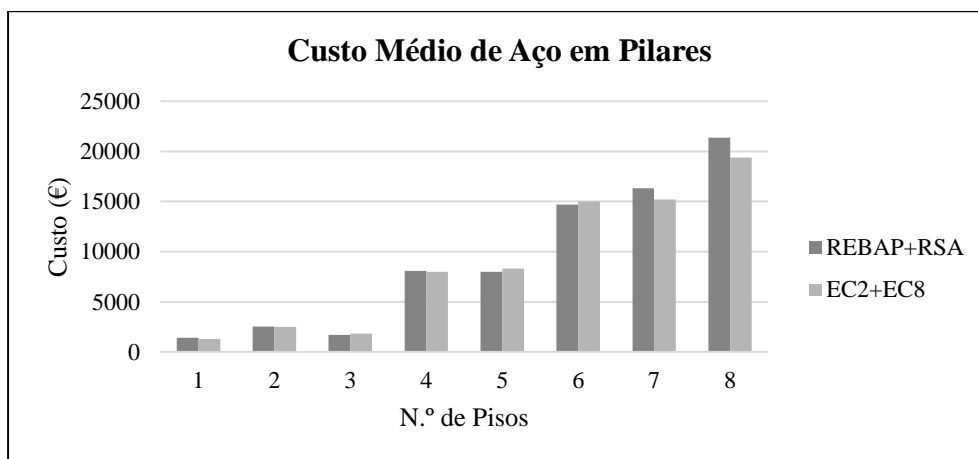


Gráfico 22: Comparação regulamentar do custo médio de aço em pilares.

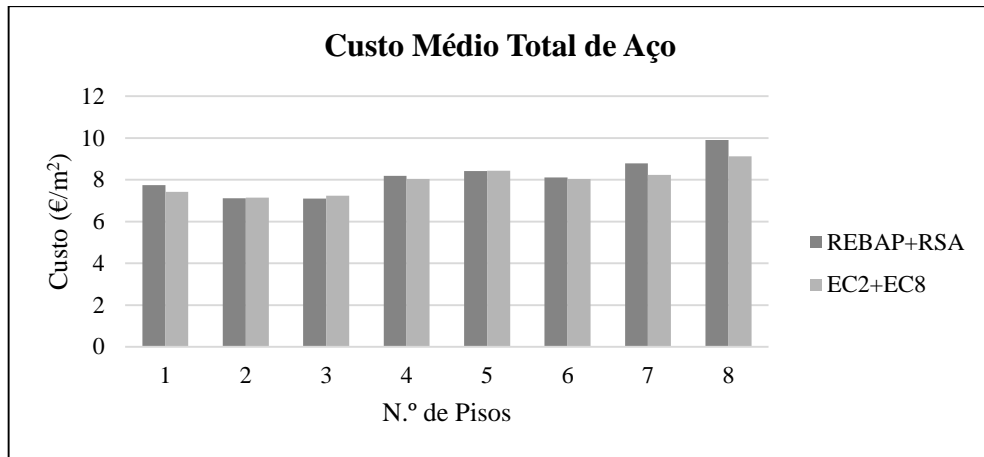


Gráfico 23: Comparação regulamentar do custo médio total de aço por m² de construção.

No que concerne ao custo médio de betão armado (cofragem, betão e aço), na Tabela 45 verifica-se que o custo total de betão armado obtido segundo o REBAP+RSA é 2% superior ao obtido com o EC2+EC8 em vigas (Gráfico 24), enquanto o custo total de betão armado em pilares (Gráfico 25) não apresenta variação percentual significativa. Na Tabela 46 também se verifica que o custo médio total de betão armado por m² de construção (Gráfico 26) segundo o REBP+RSA não apresenta variação relativamente ao dimensionamento de acordo com o EC2+EC8.

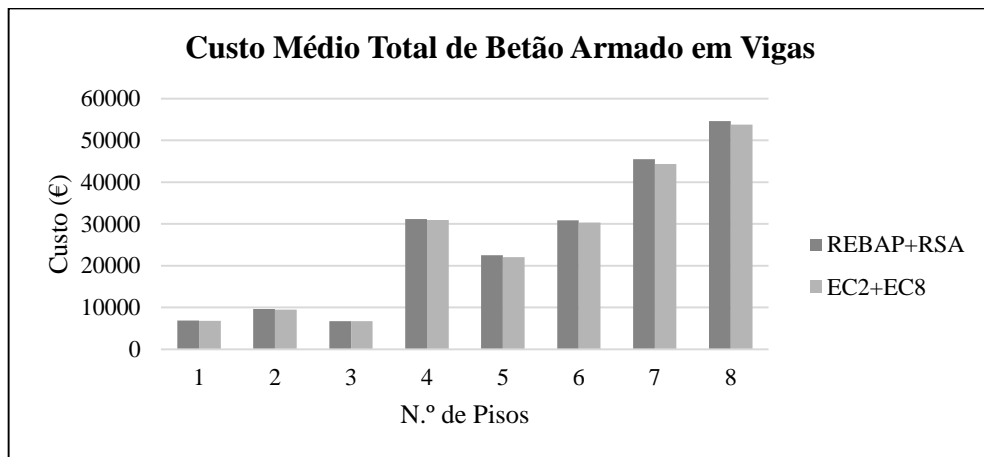


Gráfico 24: Comparação regulamentar do custo médio total de betão armado em vigas.

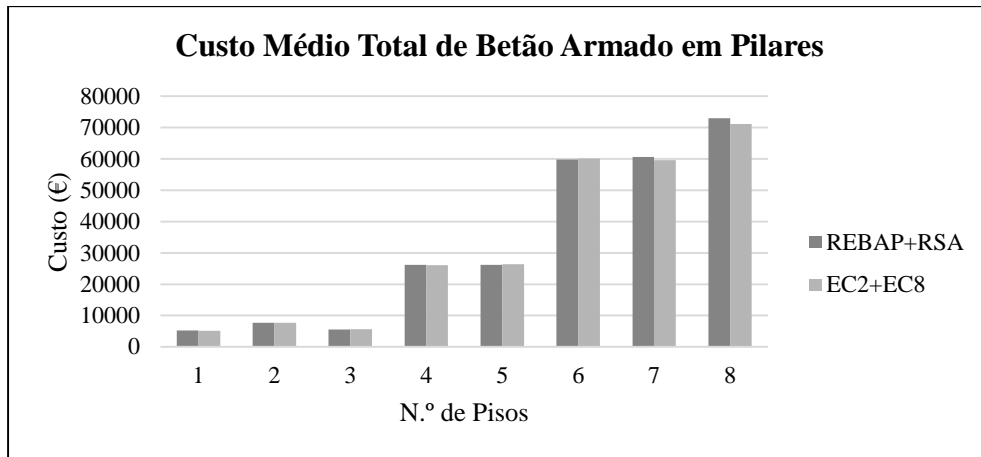


Gráfico 25: Comparação regulamentar do custo médio total de betão armado em pilares.

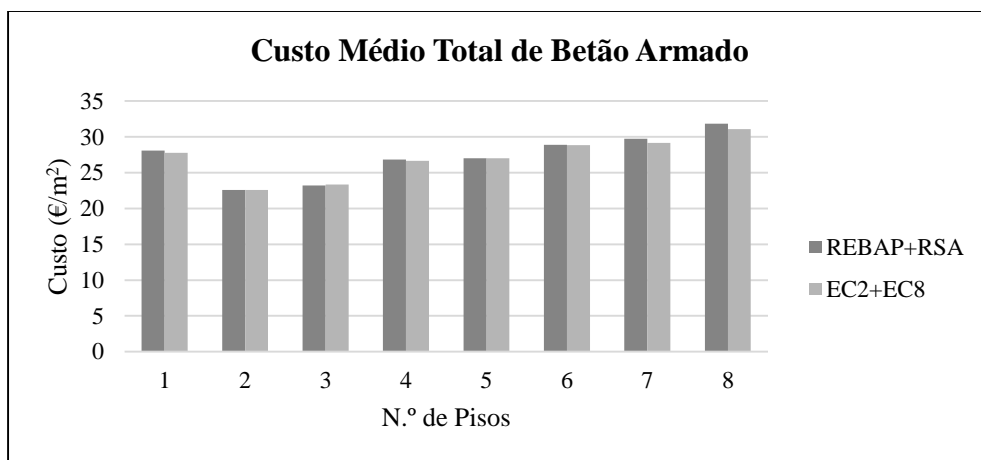


Gráfico 26: Comparação regulamentar do custo médio total de betão armado por m² de construção.

No geral, verifica-se que o custo médio dos elementos analisados não variam linearmente com o número de pisos dos edifícios sendo possível obter um valor médio total global, relativamente ao custo de cofragens, betão e aço, que se apresentam nas Tabelas 47 a 49.

Tabela 47: Custo médio global de cofragem e de betão.

Elemento Estrutural	Cofragem		Betão	
	Média	D. P.	Média	D. P.
Vigas (€)	7535	2978	10432	4233
Pilares (€)	16212	9202	7573	4433
Total (€/m ²)	10,69	0,57	8,42	0,47

Tabela 48: Custo médio global de aço.

Elemento Estrutural	Aço REBAP+RSA		Aço EC2+EC8	
	Média	D. P.	Média	D. P.
Vigas (€)	8034	2506	7577	2562
Pilares (€)	9264	3675	8942	3429
Total (€/m ²)	8,18	0,58	7,96	0,39

Tabela 49: Custo médio global total de betão armado.

Elemento Estrutural	Total REBAP+RSA		Total EC2+EC8	
	Média	D. P.	Média	D. P.
Vigas (€)	26001	9365	25563	9479
Pilares (€)	33048	16765	32743	16161
Total (€/m ²)	27,28	1,22	27,07	0,98

Relativamente ao custo médio global do aço (Gráfico 27), o custo médio global do aço segundo o REBAP+RSA em vigas e em pilares é 6% e 4% superior ao dimensionamento segundo o EC2+EC8, respetivamente. No que concerne ao custo médio global do betão armado (Gráfico 28), observa-se que nas vigas o custo médio global é superior segundo o REBAP+RSA em cerca de 2% comparativamente com o EC2+EC8, enquanto nos pilares o valor é idêntico. O mesmo acontece com o custo médio global de aço e de betão armado por m² de construção (Gráfico 29) que não apresenta variação percentual significativa.

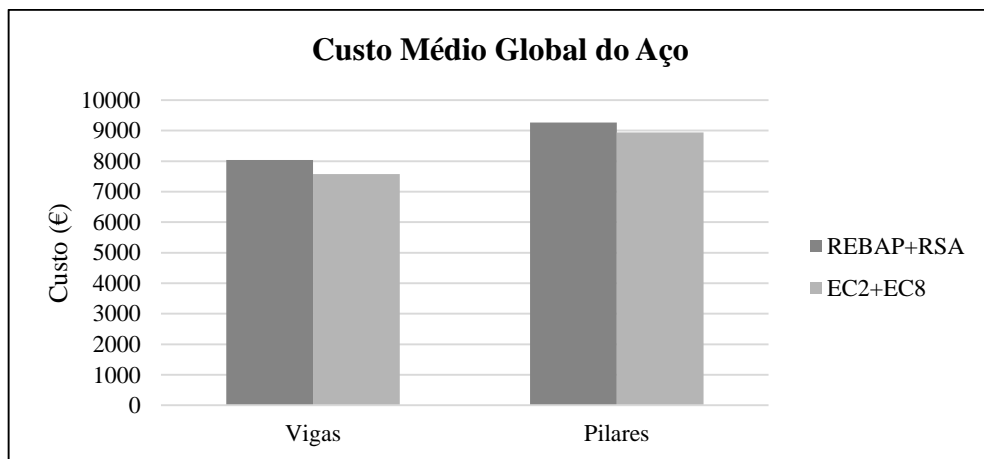


Gráfico 27: Comparação regulamentar do custo médio global do aço em vigas e pilares.

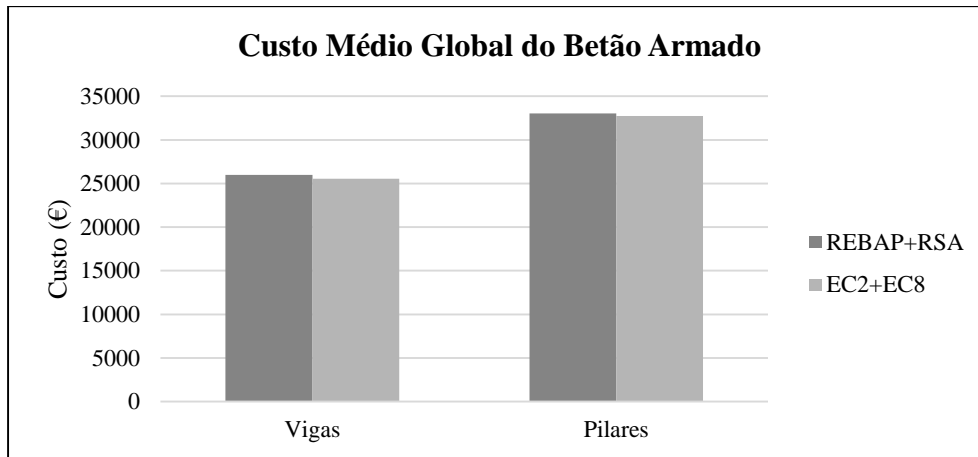


Gráfico 28: Comparação regulamentar do custo médio global do betão armado em vigas e pilares.

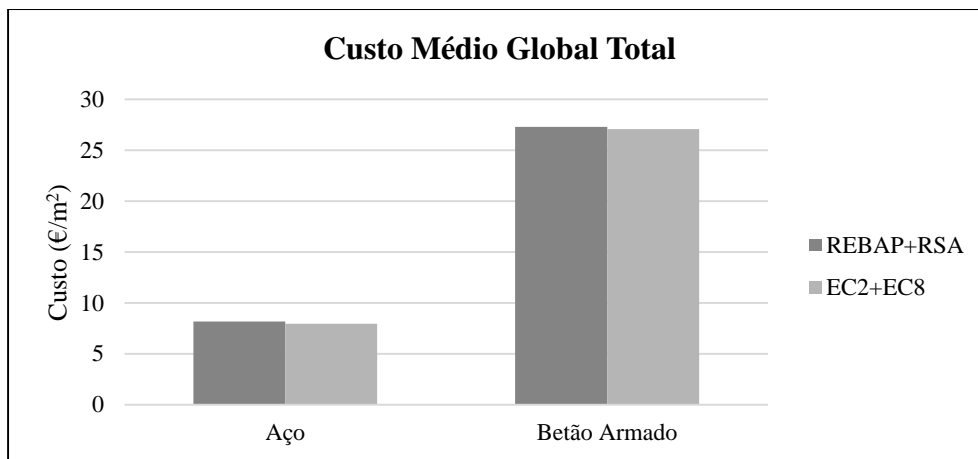


Gráfico 29: Comparação regulamentar do custo médio global total de aço e de betão armado por m² de construção.

É possível concluir, de um modo geral, que o dimensionamento segundo o REBAP+RSA é equivalente ao do EC2+EC8, pelo que a nova regulamentação europeia não introduz qualquer alteração relevante de custo na construção. É importante salientar que na análise dos custos de um sistema estrutural não é suficiente ter apenas em consideração o consumo de materiais. Para aferir a viabilidade económica e técnica de um sistema estrutural e para cada elemento é necessário ter em consideração outras etapas associadas ao processo construtivo, tais como, mão de obra, tempo de execução, recursos utilizados e outros materiais necessários. De qualquer forma, tendo em vista os objetivos da presente dissertação, os custos serão afetados igualmente por ambas as regulamentações.

Capítulo 6

Análise Paramétrica dos Eurocódigos Estruturais

Neste capítulo desenvolve-se uma análise sobre a influência de variáveis relevantes no projeto de acordo com a regulamentação europeia, visto que esta constitui a base dos projetos que serão realizados no futuro em Portugal. Esta análise incidirá sobre os elementos estruturais que têm vindo a ser alvo de análise neste documento, nomeadamente, vigas e pilares para estruturas porticadas de betão armado. Os parâmetros considerados foram quatro: a localização dos edifícios, o tipo de armaduras, a classe de resistência do betão, o recobrimento das armaduras e a classe de ductilidade. A análise permitiu uma comparação dos resultados do dimensionamento obtidos para cada parâmetro com os resultados de referência obtidos no Capítulo 5 em termos de quantidades de aço e custo total da estrutura.

6.1. Aspetos Gerais

Existe, como verificado anteriormente, uma diferença entre a quantidade de aço consumida segundo as regulamentações aplicadas e são vários os fatores que podem justificar a discrepância observada, sendo interessante a realização de uma análise paramétrica sobre o efeito das variáveis relevantes de projeto de acordo com o EC2 e o EC8. Deste modo, realiza-se uma análise que permita identificar os parâmetros que apresentam uma maior influência sobre a quantidade total de aço e o custo total da estrutura (salienta-se que não existe uma relação direta entre as duas quantidades, uma vez que o custo do betão se mantém constante). A análise incide fundamentalmente na escolha de um parâmetro e a sua variação, de modo a observar a sua influência nas quantidades de aço em vigas e pilares. Os parâmetros sujeitos à análise são a localização dos edifícios, o tipo de armaduras, a classe de resistência do betão, o recobrimento das armaduras e a classe de ductilidade. Para este efeito, considerou-se a amostra de 15 edifícios com 4 pisos, uma vez que representa a média entre 1 e 8 pisos e que se trata de uma configuração moderna com alguma representação nos edifícios habitacionais.

Relativamente à localização do edifício, o estudo realizou-se para o distrito do Porto e de Lisboa (Figuras 27 e 28, respetivamente), visto que são os distritos com mais população no país e existe um aumento do nível da ação sísmica do Porto para Lisboa. Em relação aos tipos de armaduras e à classe de resistência do betão, analisou-se a influência do tipo de aço A400 e A500 e das classes de betão C20/25 e C25/30, respetivamente. Ao nível do recobrimento das armaduras, é analisado o efeito da espessura do recobrimento de 2,0 cm comparativamente com um recobrimento de 3,0 cm (Figura 29). No que concerne ao nível da classe de ductilidade pretendida para os edifícios, procedeu-se ao dimensionamento dos edifícios segundo a classe de ductilidade baixa (DCL), média (DCM) e alta (DCH).

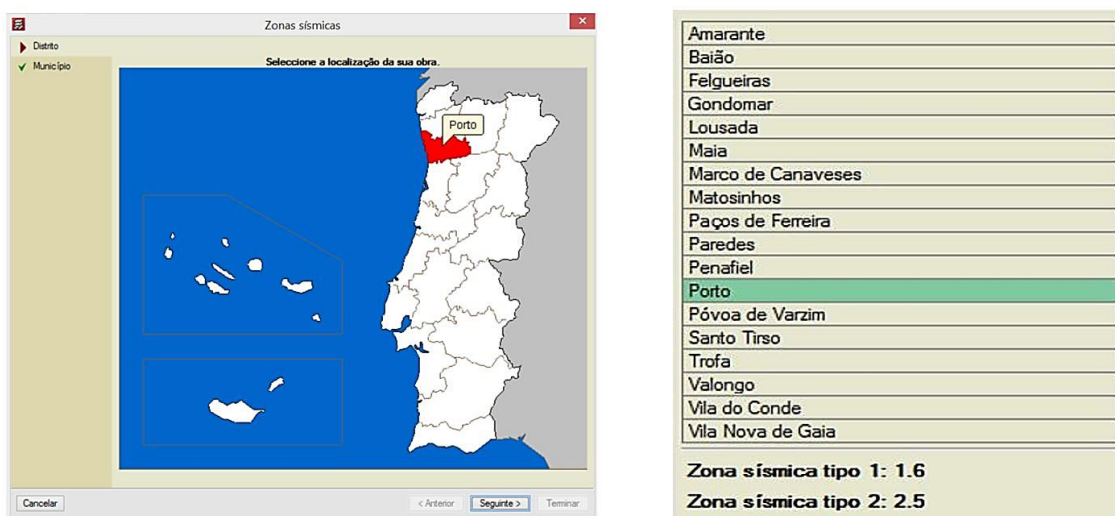


Figura 27: Definição da ação sísmica para o distrito do Porto no software CYPECAD.

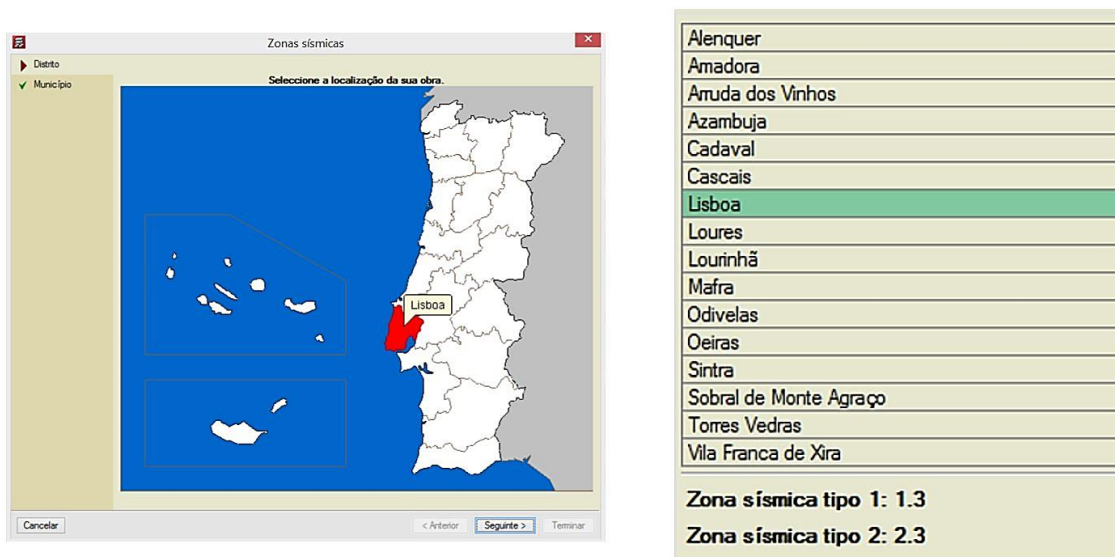


Figura 28: Definição da ação sísmica para o distrito de Lisboa no software CYPECAD.

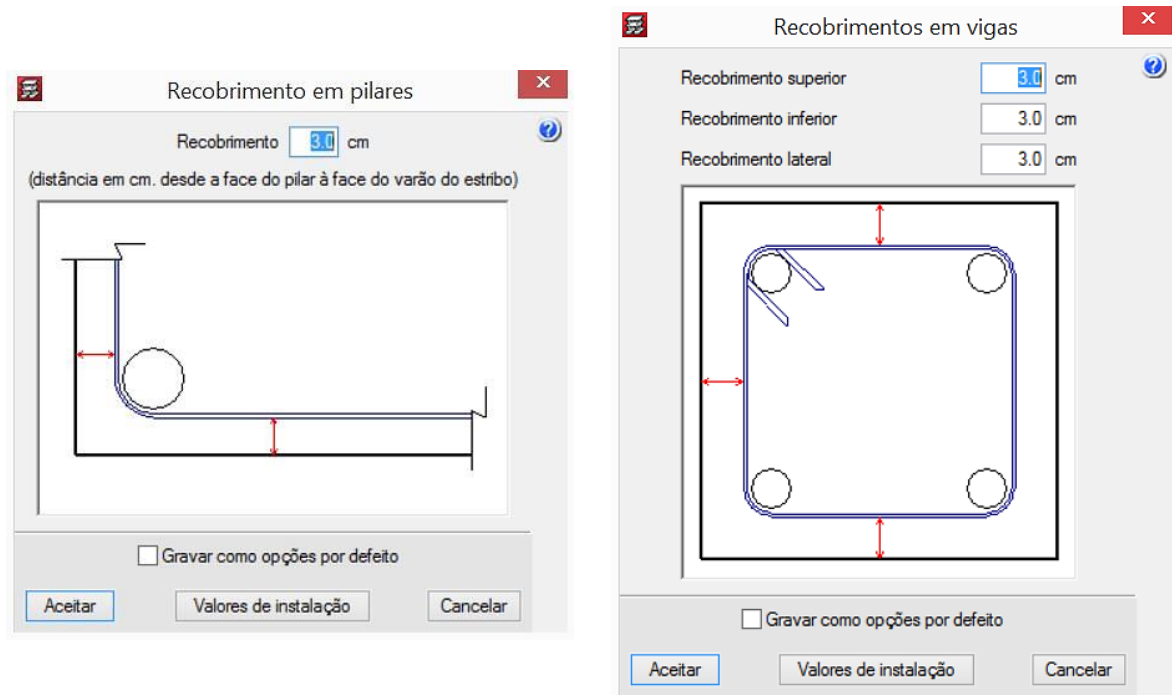


Figura 29: Definição do recobrimento em pilares (à esquerda) e em vigas (à direita) no software CYPECAD.

6.2. Quantidades de Aço

Nesta secção são apresentados os valores para as quantidades de armadura, em vigas e pilares, comparativamente com os resultados de referência obtidos no Capítulo 5. Os resultados apresentados dizem respeito às quantidades de aço para os distritos definidos, os tipos de armaduras, as classes de betão e a classe de ductilidade, de acordo com o estudo paramétrico efetuado.

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos por edifício e o respetivo valor médio, bem como, o desvio padrão (designado simplificadaamente por D. P.), de vigas e pilares. Relativamente ao volume de betão, uma vez que as secções de betão se mantiveram, os volumes consumidos são iguais aos obtidos no Capítulo 5, pelo que não serão apresentados nesta secção.

6.2.1. Resultados

6.2.1.1. Quantidade de Aço por Distrito

Tabela 50: Quantidade de aço em vigas e pilares para os distritos em análise.

Edifício N.º	Aço (kg) Vigas			Aço (kg) Pilares		
	Referência	Porto	Lisboa	Referência	Porto	Lisboa
1	7086	6463	7086	8127	4684	8127
2	33820	29344	33820	26681	17102	26681
3	7694	7598	8828	6744	6383	11215
4	2399	2399	2481	1657	1657	1835
5	11884	11884	13762	8437	8437	11254
6	5495	4801	5495	4466	2551	4466
7	22465	22465	25446	19674	19674	27001
8	11219	11219	11649	11434	11434	17027
9	1750	1750	2354	1590	1590	2849
10	2963	2889	2963	5498	3756	5498
11	9399	9399	10585	9745	9745	12384
12	25927	25927	29086	19545	19545	33013
13	6939	6483	6939	6523	5789	6523
14	3589	3589	3703	3923	3923	4287
15	11247	9725	11247	11893	8968	11893
Média	10925	10396	11696	9729	8349	12270
D. P.	9375	8708	9963	7193	6157	9630

6.2.1.2. Quantidade de Aço por Tipo de Armaduras

Tabela 51: Quantidade de aço em vigas e pilares para os tipos de armaduras em análise.

Edifício N.º	Aço (kg) Vigas			Aço (kg) Pilares		
	Referência	A400	A500	Referência	A400	A500
1	7086	7086	6578	8127	8127	7213
2	33820	33820	30862	26681	26681	26095
3	7694	7694	7101	6744	6744	6669
4	2399	2399	2245	1657	1657	1675
5	11884	11884	10801	8437	8437	8497
6	5495	5495	4761	4466	4466	4285
7	22465	22465	20682	19674	19674	18812
8	11219	11219	9698	11434	11434	11117
9	1750	1750	1587	1590	1590	1533
10	2963	3867	2963	5498	5801	5498
11	9399	10933	9399	9745	9745	9745
12	25927	23552	25927	19545	18319	19545
13	6939	6939	5711	6523	6523	5922
14	3589	3972	3589	3923	4000	3923
15	11247	11247	9738	11893	11893	12121
Média	10925	10955	10109	9729	9673	9510
D. P.	9375	9038	8830	7193	7063	7064

6.2.1.3. Quantidade de Aço por Classe de Betão

Tabela 52: Quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de betão em análise.

Edifício N.º	Aço (kg) Vigas			Aço (kg) Pilares		
	Referência	C20/25	C25/30	Referência	C20/25	C25/30
1	7086	6949	7259	8127	7569	7380
2	33820	33820	33335	26681	26681	24137
3	7694	7694	7967	6744	6744	7165
4	2399	2403	2399	1657	1726	1657
5	11884	11884	11970	8437	8437	8143
6	5495	5564	5495	4466	4930	4466
7	22465	22465	23813	19674	19674	18591
8	11219	11026	10974	11434	10705	10371
9	1750	1673	1645	1590	1467	1369
10	2963	2963	3195	5498	5498	5223
11	9399	9444	9399	9745	10511	9745
12	25927	27001	25927	19545	20426	19545
13	6939	5539	6939	6523	6669	6523
14	3589	3659	3589	3923	4103	3923
15	11247	11247	11247	11893	11893	11893
Média	10925	10889	11010	9729	9802	9342
D. P.	9375	9552	9399	7193	7252	6692

6.2.1.4. Quantidade de Aço por Espessura de Recobrimento

Tabela 53: Quantidade de aço em vigas e pilares para as espessuras de recobrimento em análise.

Edifício N.º	Aço (kg) Vigas		Aço (kg) Pilares	
	Referência 2,0 cm	Recobrimento 3,0 cm	Referência 2,0 cm	Recobrimento 3,0 cm
1	7086	7077	8127	8273
2	33820	35488	26681	27025
3	7694	7808	6744	6779
4	2399	2438	1657	1659
5	11884	12302	8437	8666
6	5495	5664	4466	4541
7	22465	22835	19674	20108
8	11219	11295	11434	11641
9	1750	1809	1590	1759
10	2963	3725	5498	5239
11	9399	9430	9745	9882
12	25927	25927	19545	19545
13	6939	7117	6523	6698
14	3589	3657	3923	4092
15	11247	11247	11893	11174
Média	10925	11188	9729	9805
D. P.	9375	9637	7193	7258

6.2.1.5. Quantidade de Aço por Classe de Ductilidade

Tabela 54: Quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de ductilidade em análise.

Edifício N.º	Aço (kg) Vigas			Aço (kg) Pilares		
	DCL	DCM	DCH	DCL	DCM	DCH
1	7086	10806	11564	8127	10572	12475
2	33820	40950	41533	26681	32570	39110
3	7694	10748	11248	6744	12053	14330
4	2399	3202	3595	1657	2372	3005
5	11884	17050	19846	8437	12127	15375
6	5495	7075	7920	4466	5623	6717
7	22465	27652	32637	19674	27396	35540
8	11219	13373	15054	11434	14324	16053
9	1750	2161	2841	1590	3639	4502
10	2963	3608	4780	5498	11804	17661
11	9399	15615	17611	9745	15163	21237
12	25927	41359	46580	19545	30436	35126
13	6939	7815	10435	6523	10594	13955
14	3589	4635	5928	3923	7868	10550
15	11247	15986	18086	11893	15954	18486
Média	10925	14802	16644	9729	14166	17608
D. P.	9375	12613	13557	7193	9201	11071

6.2.2. Análise dos Resultados

Para uma melhor visualização da variação da quantidade de aço obtida, nos gráficos que se seguem apresenta-se a quantidade média obtida para cada parâmetro em estudo.

Relativamente à localização do edifício (Gráfico 30), através da Tabela 50 observa-se uma diferença percentual entre os valores de referência e os parâmetros em análise. Para o distrito do Porto, verifica-se que a quantidade de aço necessária em vigas e pilares é cerca de 5% e 17% menor do que para os valores de referência, respetivamente. Para o distrito de Lisboa, é necessário cerca de mais 7% e 26% de aço em vigas e pilares, respetivamente. No dimensionamento para o distrito de Lisboa são obtidas quantidades de aço mais elevadas quando comparadas com os valores de referência. Em termos de quantidade total de armadura a diferença entre Porto e Lisboa é de $(12270 + 11696) / (10396 + 8349) = 1,28$ (verifica-se um acréscimo de quantidade de armadura do Porto para Lisboa de 28%). De forma consistente, a quantidade de armadura aumenta sempre do Porto para Lisboa, como esperado.

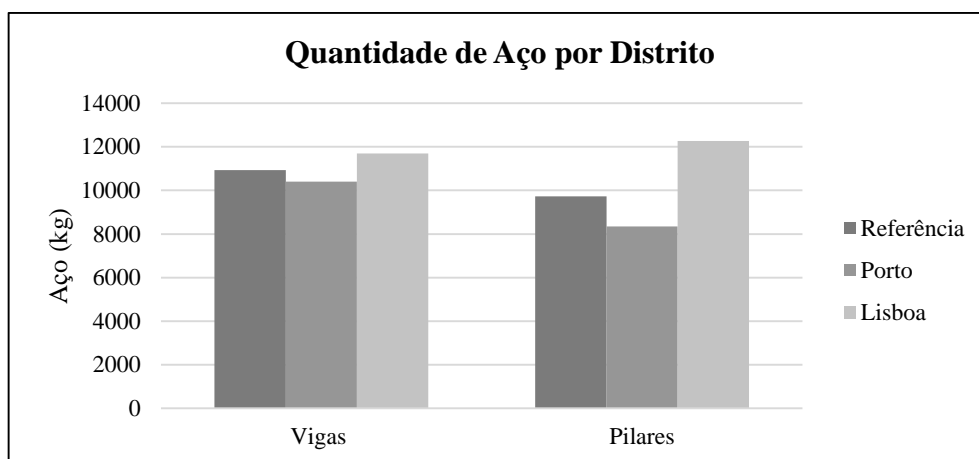


Gráfico 30: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para os distritos em análise

Para o tipo de armadura selecionada (Gráfico 31), na Tabela 51 observa-se que a variação percentual das quantidades obtidas segundo os tipos de armadura em análise não é muito significativa. Verifica-se que para armaduras A400, a quantidade média de aço consumida em vigas é idêntico, sendo o valor para pilares 1% inferior ao valor de referência. Para armaduras A500, a quantidade média de aço em vigas e pilares é cerca de 8% e 2% inferior, respetivamente. Esta pequena variação percentual justifica-se pelo facto de que, nos valores de referência, cerca de 73% dos edifícios foram originalmente projetados para aço A400, para 27% de edifícios projetados com armaduras A500. No entanto, este resultado é algo inesperado, pois a consideração do A400 implica o aumento de custo no valor do aço. Em termos de quantidade total de armadura a diferença entre A500 e A400 é de $(10955 + 9673) / (10109 + 9510) = 1,05$

(verifica-se um acréscimo de quantidade de armadura do A500 para A400 de 5%). A diferença obtida é pequena e inferior à relação entre tensões de cedência do aço ($500 / 400 = 1,25$), devido muito provavelmente a restrições regulamentares (quantidades mínimas de armadura e maiores comprimentos de amarração, por exemplo). Num número de casos residual, verifica-se que a quantidade de armadura obtida com A500 é superior à obtida com A400, o que indicia, muito provavelmente, um deficiente pré-dimensionamento da estrutura.

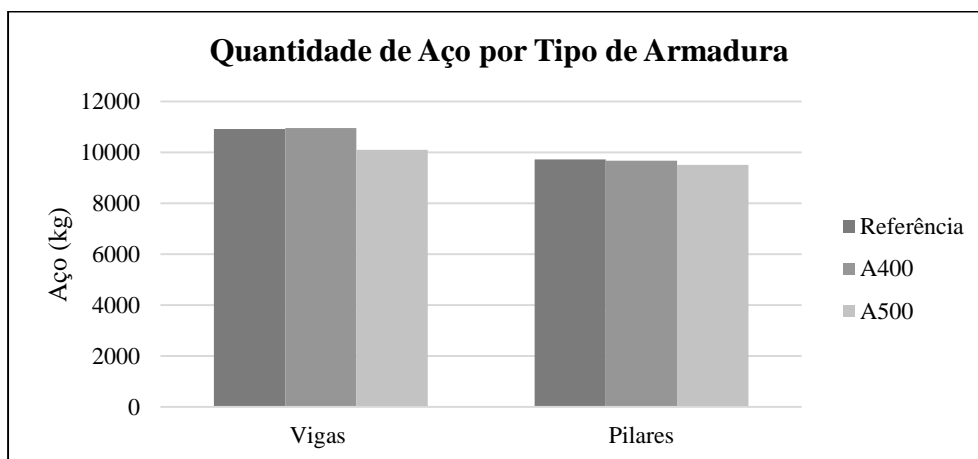


Gráfico 31: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para os tipos de armadura em análise.

Ao nível da classe de betão (Gráfico 32), na Tabela 52 verifica-se que para a classe de resistência C20/25 a variação percentual não é relevante comparativamente com os valores de referência. Para a classe C25/30, em vigas, a quantidade de aço é 1% superior, enquanto para pilares é cerca de 4% inferior ao valor de referência. Em termos de quantidade total de armadura a diferença entre C20/25 e C25/30 é de $(10889 + 9802) / (11010 + 9342) = 1,02$ (verifica-se um acréscimo de quantidade de armadura do C20/25 para C25/30 de 2%), sendo um valor residual. No caso das vigas, verifica-se que o aumento da classe de betão conduz a um aumento de armadura, provavelmente devido ao aumento da área mínima de armadura (admite-se que as secções estão pouco armadas, face aos pré-dimensionamentos efetuados). No caso dos pilares, a redução de armadura também não é significativa, seja de $(9802 / 9342) = 1,05$. Este valor é muito inferior a relação entre tensões de rotura do betão, $25 / 20 = 1,25$.

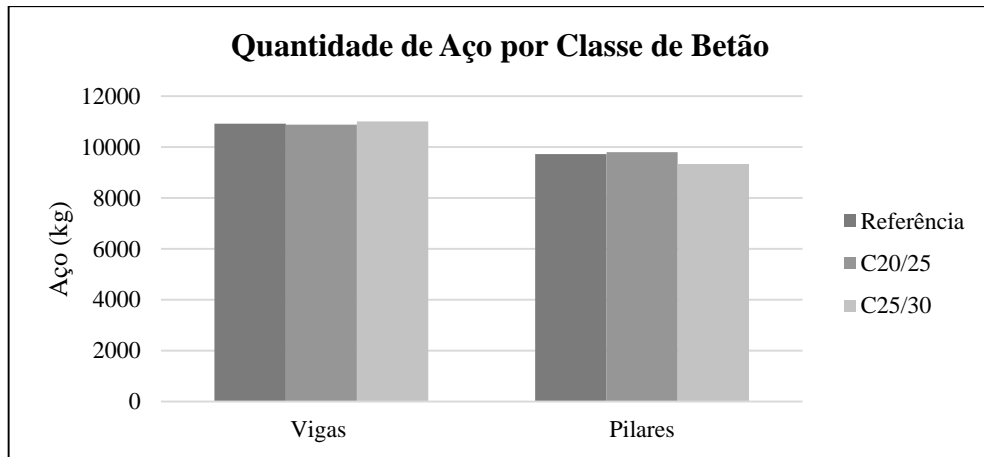


Gráfico 32: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de betão em análise.

Relativamente à espessura de recobrimento (Gráfico 33), na Tabela 53 observa-se que para um recobrimento de 3,0 cm é necessária uma quantidade de armadura em vigas e pilares cerca de 2% e 1% superior, respetivamente. Em termos de quantidade total de armadura a diferença entre 2,0 cm e 3,0 cm é de $(11188 + 9805) / (10925 + 9729) = 1,02$ (verifica-se um acréscimo de quantidade de armadura de 2,0 cm para 3,0 cm de 2%).

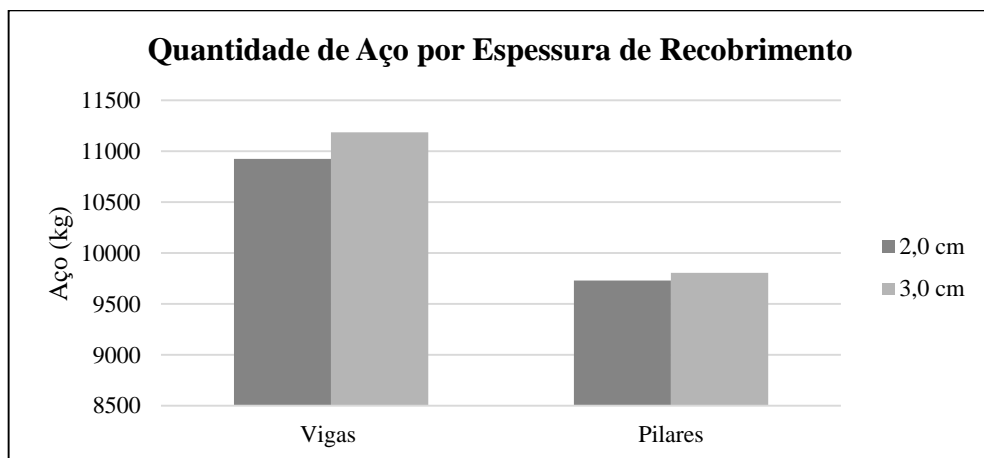


Gráfico 33: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para recobrimentos de 2,0 e 3,0 cm.

Na comparação da quantidade de aço necessária para os mesmos edifícios, mas em níveis de ductilidade diferentes (Gráfico 34), na Tabela 54 verifica-se a influência que a escolha da ductilidade de uma estrutura pode ter na quantidade de aço obtida no seu dimensionamento. Neste caso, visto que no Capítulo 5 os edifícios da amostra geral tinham sido calculados para a classe de ductilidade baixa, os valores de referência dizem respeito à quantidade de aço para o nível de ductilidade baixa. Assim, observa-se que para a classe de ductilidade média a

quantidade de aço necessária em vigas e pilares é 35% e 46% superior aos valores de referência, respetivamente. Para a classe de ductilidade alta, a variação da quantidade de aço necessária em vigas e pilares acentua-se para 52% e 81% a mais, respetivamente, quando comparado com os valores de referência. Em termos de quantidade total de armadura a diferença entre ductilidades é de $(14802 + 14166) / (10925 + 9729) = 1,40$ (verifica-se um acréscimo de quantidade de armadura de 40% quando a ductilidade passa de baixa para média) e $(16644 + 17608) / (10925 + 9729) = 1,66$ (verifica-se um acréscimo de quantidade de armadura de 66% quando a ductilidade passa de baixa para alta). De forma consistente, a quantidade de armadura aumenta sempre para classes de ductilidades mais elevadas.

Salienta-se que o Eurocódigo 8 recomenda que a classe DCL (baixa) seja apenas usada nas zonas de baixa sismicidade (grosso modo, o Norte de Portugal). O Anexo Nacional do EC8 permite alguma abertura para que a classe DCL (baixa) possa ser considerada com alguma tolerância, mas limitada a edifícios regulares e de classe de importância não superior a II. Isto implica que os restantes edifícios terão um acréscimo médio na quantidade de armadura de 40%.

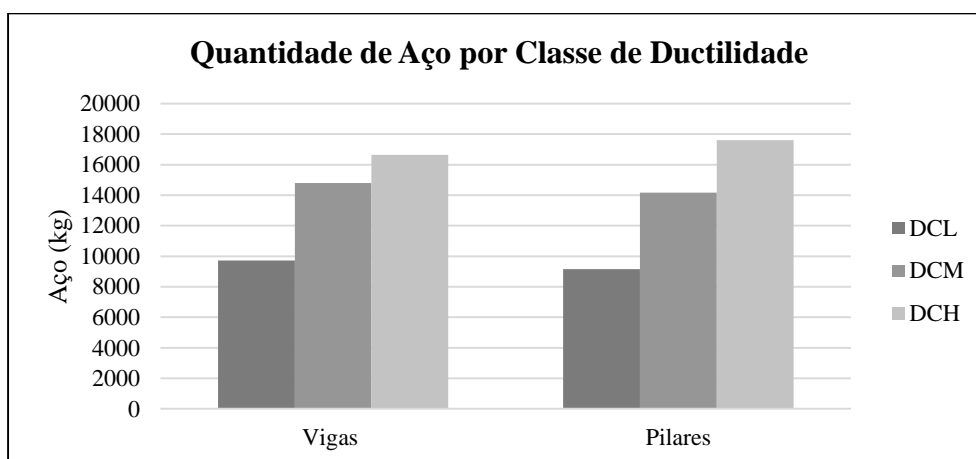


Gráfico 34: Comparação da quantidade de aço em vigas e pilares para as classes de ductilidade em análise.

6.3. Custos Médios

À semelhança do procedimento adotado no Capítulo 5 na determinação do custo médio de cada elemento, os custos de aço correspondem ao valor resultante do produto entre custo unitário, disponibilizado pelo Gerador de Custos, e a quantidade de aço obtida através do cálculo dos edifícios. Assim, obteve-se o custo de aço em vigas e pilares e o custo total de betão armado

(resultante do somatório do custo de cofragem e do betão, obtidos no Capítulo 5, e o custo do aço para os parâmetros em análise) por elemento estrutural e por m² de construção. Assim, nesta secção apresentam-se os custos médios de betão armado obtidos em vigas e pilares, bem como, o respetivo valor médio e o desvio padrão (designado simplificado por D. P.) para os parâmetros em análise neste capítulo. No Anexo F é possível consultar os custos de aço em vigas e pilares.

6.3.1. Resultados

6.3.1.1. Custo do Betão Armado por Distrito

Tabela 55: Custo de betão armado por distritos.

Edifício N.º	Betão Armado (€) Vigas			Betão Armado (€) Pilares		
	Referência	Porto	Lisboa	Referência	Porto	Lisboa
1	24052	23541	24052	16859	14035	16859
2	83105	79434	83105	65398	57543	65398
3	22080	22001	23010	27622	27326	31289
4	6063	6063	6130	3982	3982	4128
5	29438	29438	30978	17382	17382	19692
6	12455	11886	12455	9760	8189	9760
7	61765	61765	64210	54216	54216	60224
8	30817	30817	31170	34118	34118	38704
9	4364	4364	4859	4468	4468	5501
10	8271	8209	8271	18021	16575	18021
11	31809	31809	32793	22006	22006	24196
12	88946	88946	91568	70217	70217	81395
13	16723	16349	16723	15548	14946	15548
14	10780	10780	10875	11140	11140	11442
15	33342	32094	33342	21102	18703	21102
Média	30934	30500	31569	26123	24990	28217
D. P.	26673	26223	27221	21002	20324	23308

Tabela 56: Custo total de betão armado por m² de construção por distritos.

Edifício N.º	Betão Armado (€/m ²)		
	Referência	Porto	Lisboa
1	44,13	40,53	44,13
2	20,01	18,46	20,01
3	25,05	24,86	27,37
4	18,17	18,17	18,56
5	18,34	18,34	19,85
6	27,47	24,82	27,47
7	31,07	31,07	33,34
8	34,39	34,39	37,01
9	25,39	25,39	29,78
10	29,52	27,83	29,52
11	26,22	26,22	27,77
12	41,19	41,19	44,76
13	15,25	14,79	15,25
14	18,53	18,53	18,87
15	25,47	23,76	25,47
Média	26,68	25,89	27,94
D. P.	8,42	8,05	8,98

6.3.1.2. Custo do Betão Armado por Tipo de Armadura

Tabela 57: Custo total de betão armado por tipos de armaduras.

Edifício N.º	Betão Armado (€)			Betão Armado (€)		
	Referência	Vigas		Referência	Pilares	
		A400	A500		A400	A500
1	24052	24052	23701	16859	16859	16181
2	83105	83105	80988	65398	65398	65178
3	22080	22080	21665	27622	27622	27628
4	6063	6063	5959	3982	3982	4014
5	29438	29438	28658	17382	17382	17516
6	12455	12455	11901	9760	9760	9654
7	61765	61765	60510	54216	54216	53698
8	30817	30817	29667	34118	34118	33969
9	4364	4364	4246	4468	4468	4437
10	8271	8982	8271	18021	18214	18021
11	31809	32973	31809	22006	21908	22006
12	88946	86739	88946	70217	69016	70217
13	16723	16723	15773	15548	15548	15115
14	10780	11058	10780	11140	11164	11140
15	33342	33342	32202	21102	21102	21410
Média	30934	30930	30338	26123	26051	26012
D. P.	26673	26281	26370	21002	20819	20955

Tabela 58: Custo total de betão armado por m² de construção por tipos de armaduras.

Edifício N.º	Betão Armado (€/m ²)		
	Referência	A400	A500
1	44,13	44,13	43,02
2	20,01	20,01	19,70
3	25,05	25,05	24,84
4	18,17	18,17	18,04
5	18,34	18,34	18,08
6	27,47	27,47	26,65
7	31,07	31,07	30,60
8	34,39	34,39	33,71
9	25,39	25,39	24,96
10	29,52	30,53	29,52
11	26,22	26,74	26,22
12	41,19	40,31	41,19
13	15,25	15,25	14,59
14	18,53	18,79	18,53
15	25,47	25,47	25,08
Média	26,68	26,74	26,32
D. P.	8,42	8,32	8,31

6.3.1.3. Custo do Betão Armado por Classe de Betão

Tabela 59: Custo de betão armado em vigas e pilares por classes de betão.

Edifício N.º	Betão Armado (€)			Betão Armado (€)		
	Referência	C20/25	C25/30	Referência	C20/25	C25/30
1	24052	23940	24194	16859	16401	16246
2	83105	83105	82707	65398	65398	63312
3	22080	22080	22304	27622	27622	27968
4	6063	6066	6063	3982	4039	3982
5	29438	29438	29508	17382	17382	17141
6	12455	12512	12455	9760	10140	9760
7	61765	61765	62871	54216	54216	53328
8	30817	30659	30617	34118	33520	33246
9	4364	4300	4277	4468	4367	4287
10	8271	8271	8463	18021	18021	17793
11	31809	31846	31809	22006	22642	22006
12	88946	89837	88946	70217	70948	70217
13	16723	15575	16723	15548	15668	15548
14	10780	10838	10780	11140	11290	11140
15	33342	33342	33342	21102	21102	21102
Média	30934	30905	31004	26123	26184	25805
D. P.	26673	26858	26697	21002	21074	20669

Tabela 60: Custo total de betão armado por m² de construção por classes de betão.

Edifício N.º	Betão Armado (€/m ²)		
	Referência	Total	
		C20/25	C25/30
1	44,13	43,51	43,62
2	20,01	20,01	19,68
3	25,05	25,05	25,34
4	18,17	18,28	18,17
5	18,34	18,34	18,27
6	27,47	28,01	27,47
7	31,07	31,07	31,13
8	34,39	33,99	33,83
9	25,39	24,92	24,62
10	29,52	29,52	29,48
11	26,22	26,55	26,22
12	41,19	41,61	41,19
13	15,25	14,76	15,25
14	18,53	18,71	18,53
15	25,47	25,47	25,47
Média	26,68	26,65	26,55
D. P.	8,42	8,39	8,34

6.3.1.4. Custo do Betão Armado por Espessura de Recobrimento

Tabela 61: Custo do betão armado por espessura de recobrimento.

Edifício N.º	Betão Armado (€)		Betão Armado (€)	
	Vigas		Pilares	
	Referência 2,0 cm	Recobrimento 3,0 cm	Referência 2,0 cm	Recobrimento 3,0 cm
1	24052	24045	16859	16978
2	83105	84473	65398	65680
3	22080	22174	27622	27651
4	6063	6095	3982	3984
5	29438	29781	17382	17570
6	12455	12594	9760	9821
7	61765	62069	54216	54572
8	30817	30880	34118	34288
9	4364	4412	4468	4607
10	8271	8903	18021	17806
11	31809	31834	22006	22119
12	88946	88946	70217	70217
13	16723	16869	15548	15692
14	10780	10836	11140	11280
15	33342	33342	21102	20512
Média	30934	31150	26123	26185
D. P.	26673	26828	21002	21059

Tabela 62: Custo total de betão armado por m² de construção por espessura do recobrimento.

Edifício N.º	Betão Armado (€)	
	Referência 2,0 cm	Recobrimento 3,0 cm
1	44,13	44,25
2	20,01	20,24
3	25,05	25,11
4	18,17	18,23
5	18,34	18,55
6	27,47	27,72
7	31,07	31,25
8	34,39	34,52
9	25,39	25,92
10	29,52	29,99
11	26,22	26,29
12	41,19	41,19
13	15,25	15,38
14	18,53	18,70
15	25,47	25,19
Média	26,68	26,83
D. P.	8,42	8,40

6.3.1.5. Custo do Betão Armado por Classe de Ductilidade

Tabela 63: Custo de betão armado em vigas e pilares por classes de ductilidade.

Edifício N.º	Betão Armado (€) Vigas			Betão Armado (€) Pilares		
	DCL	DCM	DCH	DCL	DCM	DCH
1	24052	19055	19677	16859	24687	26247
2	83105	77098	77576	65398	86005	91368
3	22080	30906	31316	27622	24969	26837
4	6063	5249	5571	3982	6372	6891
5	29438	24445	26737	17382	31288	33951
6	12455	11899	12592	9760	13741	14638
7	61765	60758	64846	54216	66415	73093
8	30817	35708	37086	34118	33454	34872
9	4364	4936	5494	4468	6113	6821
10	8271	16452	17425	18021	15569	20431
11	31809	26878	28535	22006	34803	39845
12	88946	88322	92656	70217	87272	91164
13	16723	16608	18756	15548	20795	23551
14	10780	11731	12804	11140	14194	16420
15	33342	24458	26180	21102	36054	38131
Média	30934	30300	31817	26123	33449	36284
D. P.	26673	25431	26214	21002	26223	27546

Tabela 64: Custo total de betão armado por m² de construção por classes de ductilidade.

Edifício N.º	Betão Armado (€/m ²)		
	DCL	DCM	DCH
1	44,13	47,18	49,53
2	20,01	21,98	22,77
3	25,05	28,16	29,31
4	18,17	21,02	22,54
5	18,34	21,83	23,77
6	27,47	31,70	33,67
7	31,07	34,07	36,96
8	34,39	36,63	38,11
9	25,39	31,76	35,40
10	29,52	35,95	42,50
11	26,22	30,05	33,32
12	41,19	45,45	47,57
13	15,25	17,67	19,99
14	18,53	21,92	24,71
15	25,47	28,31	30,08
Média	26,68	30,25	32,68
D. P.	8,42	8,74	9,19

6.3.2. Análise dos Resultados

De seguida, apresentam-se graficamente os custos totais das estruturas para cada parâmetro em análise.

Relativamente à localização do edifício, através da Tabela 55 verifica-se uma diferença percentual entre os valores de referência e os parâmetros em análise. Para o distrito do Porto, verifica-se que o custo total em vigas e pilares é cerca de 1% e 5% inferior do que para os valores de referência, respetivamente (Gráfico 35). Para o distrito de Lisboa, o custo total é 2% e 8% superior em vigas e pilares, respetivamente. Como esperado, na Tabela 56 observa-se que o custo total por m² de construção, para o distrito de Lisboa é 5% mais elevado do que os valores de referência, enquanto para o Porto se obtém um custo inferior em cerca de 3% (Gráfico 36). Em termos de custo total da superestrutura porticada, verifica-se um acréscimo de 8% do Porto para Lisboa (o que compara com um aumento de quantidade de armadura de 28%).

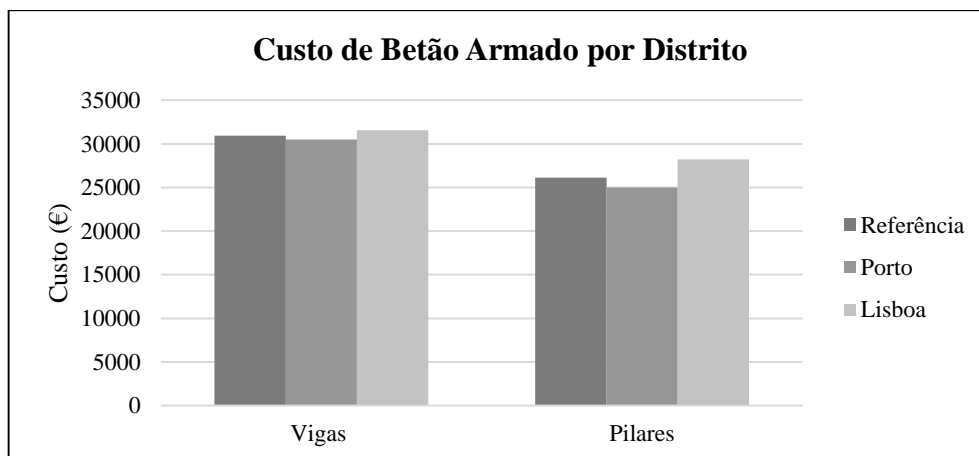


Gráfico 35: Comparação do custo de betão armado para os distritos em análise.

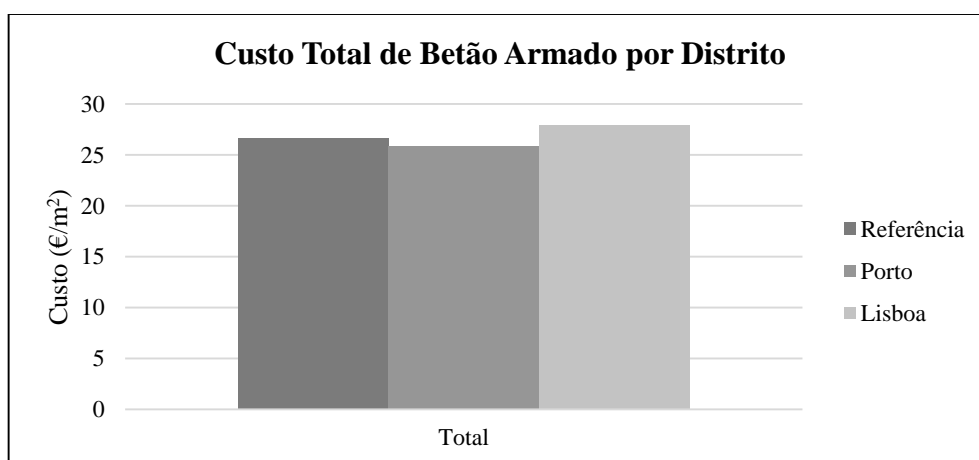


Gráfico 36: Comparação do custo total de betão armado por m² de construção para os distritos em análise.

Para a comparação entre o tipo de armadura, na Tabela 57 observa-se que a variação percentual do custo total de betão armado para os tipos de armadura em análise e os valores de referência não são significativos (Gráfico 37). Verifica-se que para armaduras A400, o custo total em vigas e pilares é idêntico. Para armaduras A500, o custo médio total em vigas é 2% inferior e em pilares o valor é idêntico. Na Tabela 58, observa-se que o custo total por m² de construção, para o tipo de armaduras A400 é idêntico aos valores de referência, enquanto para armaduras A500 se obtém um custo inferior em cerca de 1% (Gráfico 38). Em termos de custo total da superestrutura porticada, verifica-se um acréscimo de 1% quando se passa de A500 para A400 (o que compara com um aumento de quantidade de armadura de 5%).

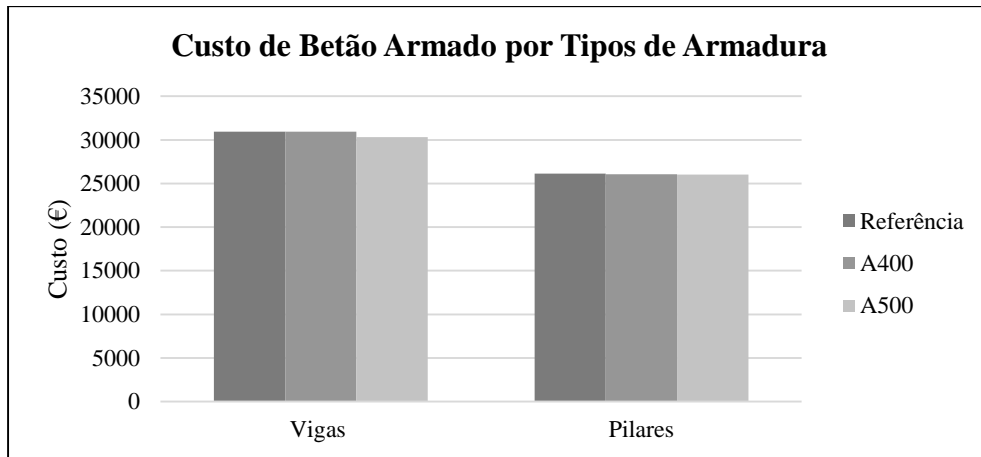


Gráfico 37: Comparação do custo de betão armado para os tipos de armaduras em análise.

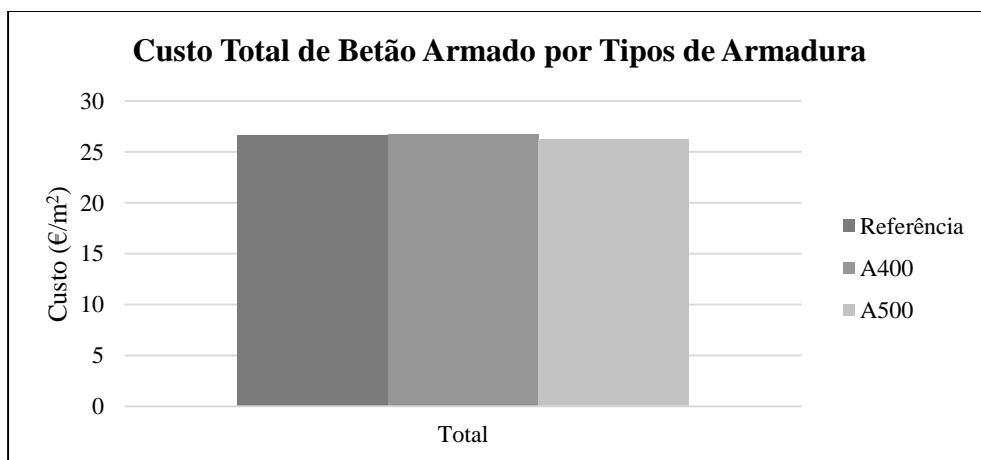


Gráfico 38: Comparação do custo total de betão armado por m² de construção para os tipos de armaduras em análise.

No que concerne à classe de betão (Gráfico 39), na Tabela 59 verifica-se que para a classe de resistência não influencia os custos totais, uma vez que o valor médio para a classe C20/25 é idêntico para vigas e pilares. Para a classe C25/30 no caso de vigas o valor do custo total é idêntico tendo-se obtido uma quantidade 1% inferior para pilares, sendo um valor residual. Consequentemente, na Tabela 60 o custo total por m² de construção é idêntico nas três situações (Gráfico 40).

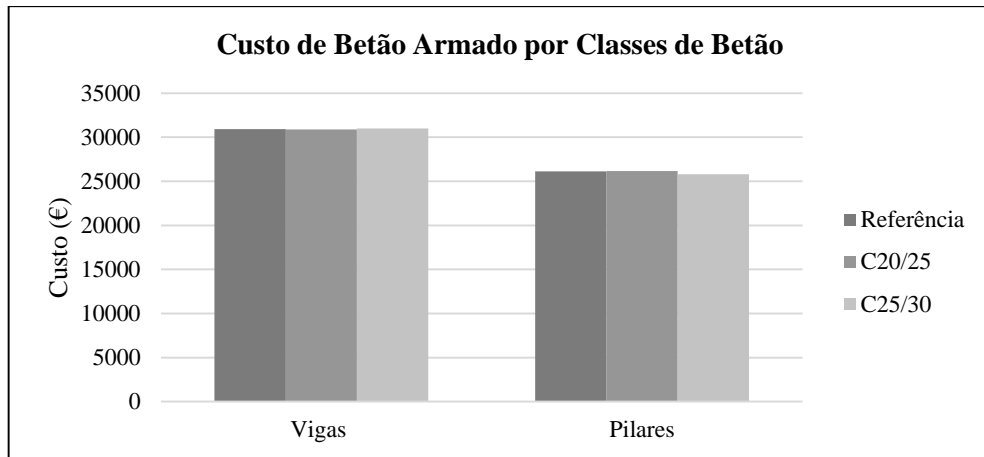


Gráfico 39: Comparação do custo de betão armado em vigas e pilares para as classes de betão em análise.

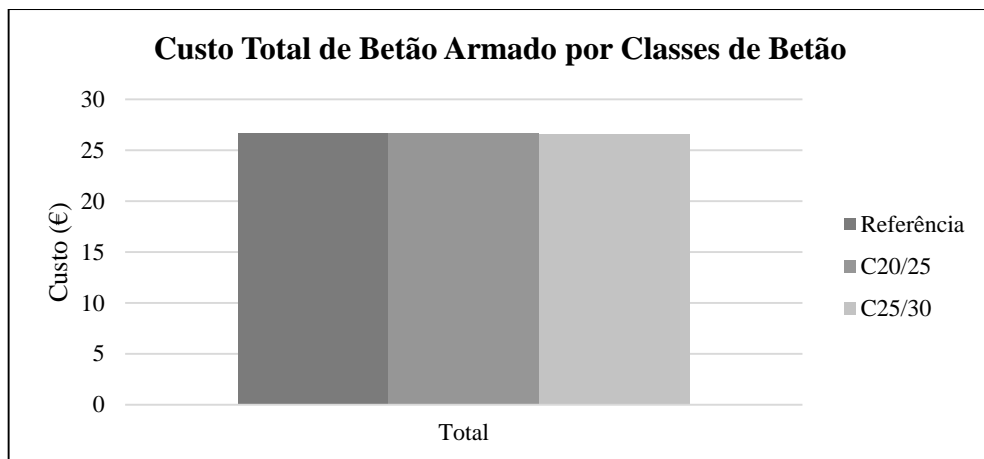


Gráfico 40: Comparação do custo total de betão armado por m² de construção para as classes de betão em análise.

Relativamente à espessura do recobrimento, através da Tabela 61 observa-se que o custo total de betão armado em vigas e pilares é idêntico quando comparado o custo total entre o recobrimento de espessura de 2,0 cm com 3,0 cm (Gráfico 41). Como esperado, na Tabela 62 verifica-se que o custo total de betão armado por m² de construção é idêntico, tendo-se obtido uma variação percentual residual de 1% (Gráfico 42).

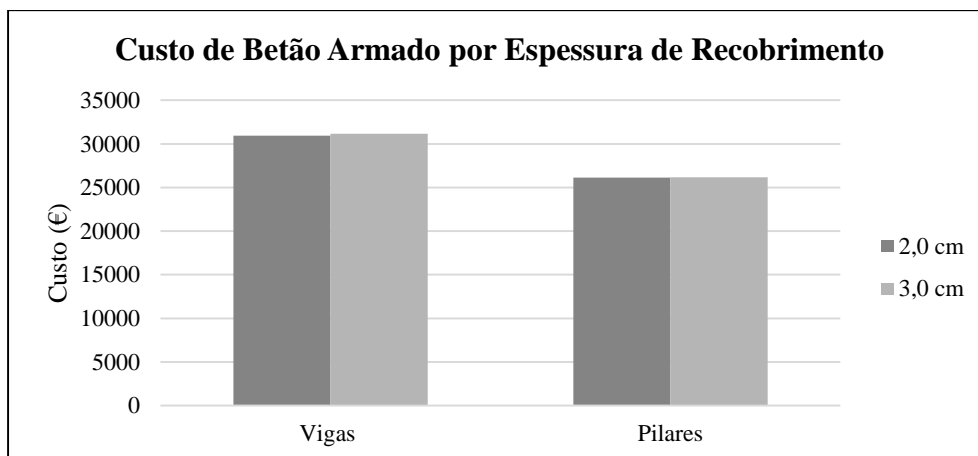


Gráfico 41: Comparação do custo de betão armado por espessura de recobrimento.

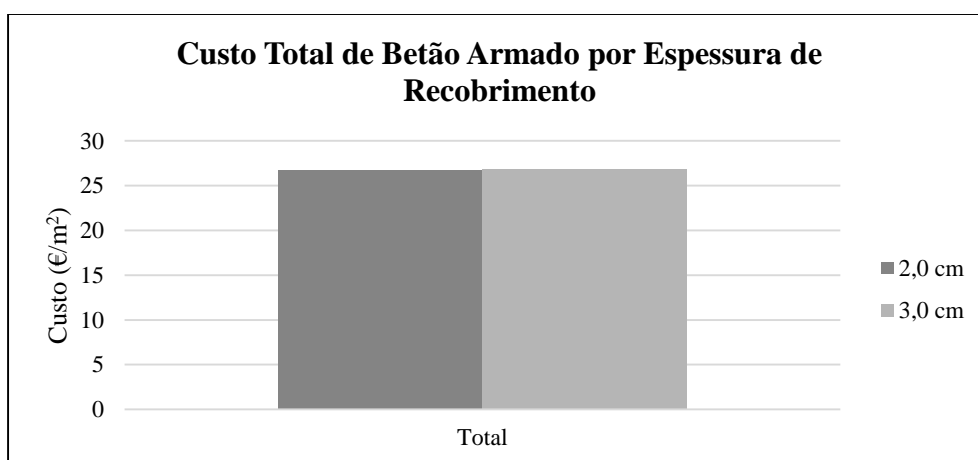


Gráfico 42: Comparação do custo total de betão armado por m² de construção por espessura de recobrimento.

Por fim, na Tabela 63 observa-se a quantidade de aço necessária para classes de ductilidade diferentes e verifica-se que para a classe de ductilidade média o custo total de betão armado em vigas é 2% inferior ao valor obtido para a ductilidade baixa, enquanto para pilares é 28% superior. Na classe de ductilidade alta, a variação do custo total em vigas e pilares aumenta para 3% e 39%, respetivamente, quando comparado com o custo total para a ductilidade baixa (Gráfico 43). Na Tabela 64, observa-se que o custo total por m² de construção, para a classe de ductilidade média e alta é 13% e 22% superior, respetivamente, comparativamente à classe de ductilidade baixa (Gráfico 44). Em termos de custo total da superestrutura porticada, verifica-se um acréscimo de 12% quando se passa de uma classe de ductilidade baixa para média e um acréscimo de 19% quando se passa de uma classe de ductilidade baixa para alta (o que compara com aumentos de quantidade de armadura de 40% e 66%, respetivamente).

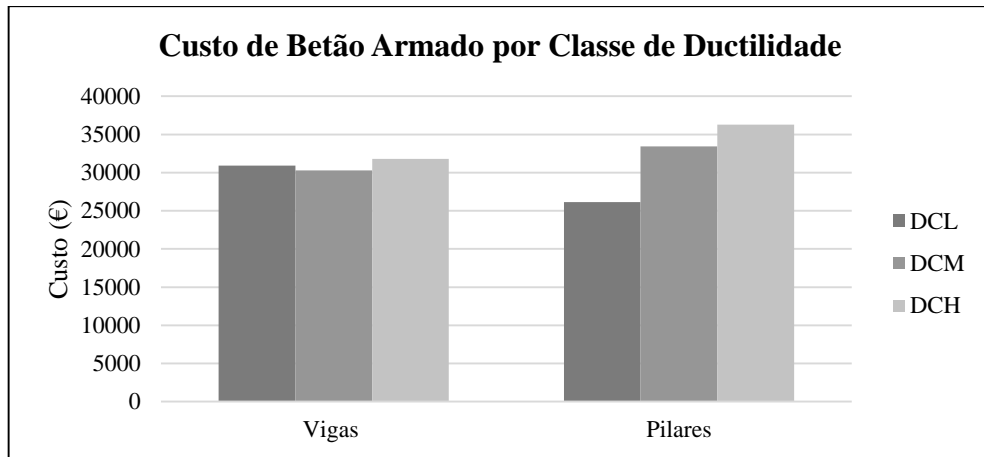


Gráfico 43: Comparação do custo de betão armado em vigas e pilares para as classes de ductilidade em análise.

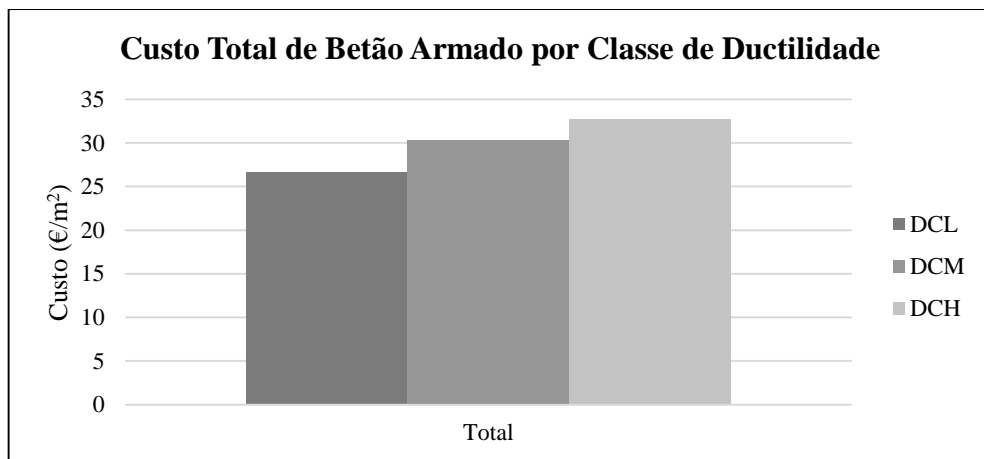


Gráfico 44: Comparação do custo total de betão armado por m² de construção para as classes de ductilidade em análise.

Capítulo 7

Conclusões

Numa sociedade que se encontra em constante desenvolvimento, a qualidade dos edifícios é uma exigência não só a nível estrutural e económico, mas principalmente do ponto de vista da segurança. Deste modo, a presente dissertação tem como objetivo incentivar a procura de conhecimento que permita estimar o custo das estruturas porticadas de betão armado na fase de planeamento, contribuindo para a melhoria da qualidade dos edifícios. O presente documento pretendeu caracterizar a situação de projeto corrente em Portugal e avaliar os efeitos da nova regulamentação.

Esta dissertação foi elaborada com base num estágio desenvolvido na empresa Top Informática, que auxiliou no desenvolvimento do trabalho e permitiu o acesso à sua base de dados. Desta forma, foi possível analisar um grande conjunto de projetos estruturais reais e selecionar os que apresentassem as características desejadas para este estudo. Assim, foi definida uma amostra geral de 160 edifícios a partir dos quais se recolheram informações gerais de construção fornecidas pelos utilizadores, dando a conhecer o panorama geral da construção em Portugal, dos últimos doze anos.

Na generalidade, concluiu-se que os projetistas parecem continuar a utilizar quase exclusivamente a regulamentação nacional em projetos correntes de betão armado (apesar da introdução da regulamentação europeia em 2004), pois, a sua utilização representa 95% dos edifícios em análise. Devido ao período de transição regulamentar que Portugal ainda está a atravessar ao nível do projeto de estruturas de betão armado, realizou-se uma análise comparativa entre a regulamentação para estruturas de betão armado, de modo a compreender melhor abrangência e os níveis de exigência que cada regulamentação impõe, concluindo-se que as principais diferenças encontram-se ao nível da definição sísmica e das classes de ductilidade das estruturas.

Com isto foi possível, aplicar os diferentes regulamentos aos projetos de edifícios e avaliar globalmente a influência da aplicação de cada um deles no dimensionamento de elementos estruturais, nomeadamente, de vigas e pilares, bem como, identificar e quantificar indicadores de projeto de edifícios em betão armado, sendo este o principal objetivo deste documento. Este estudo permitiu observar que não existe uma relação direta entre a variação em altura dos edifícios com os indicadores médios de consumo de materiais. Mas foi possível obter um valor médio global de consumo de betão e aço para vigas e pilares de estruturas porticadas. É importante referir que os custos aqui obtidos não incluem custos como as lajes ou as fundações, bem como acabamentos, terreno ou outros custos relevantes para definir um custo global de construção.

Posto isto, para os edifícios de 4 pisos da amostra geral, calculados segundo as novas regulamentações europeias, obteve-se o custo das lajes e das fundações (com recurso ao programa de cálculo automático) para determinar o acréscimo do custo relativamente ao custo da superestrutura porticada. Assim, o custo médio da superestrutura (cofragem, betão e aço) representa apenas 35% do custo total com lajes e fundações ($57057 / 164053 = 0,35$), enquanto o custo por m² de construção representa apenas 39% do total ($26,68 / 68,91 = 0,39$). No Gráfico 45 apresenta-se a comparação entre o custo médio total da amostra de edifícios de 4 pisos com o custo de lajes e fundações comparativamente com a superestrutura porticada e no Gráfico 46 apresenta-se o custo médio total por m² de construção.

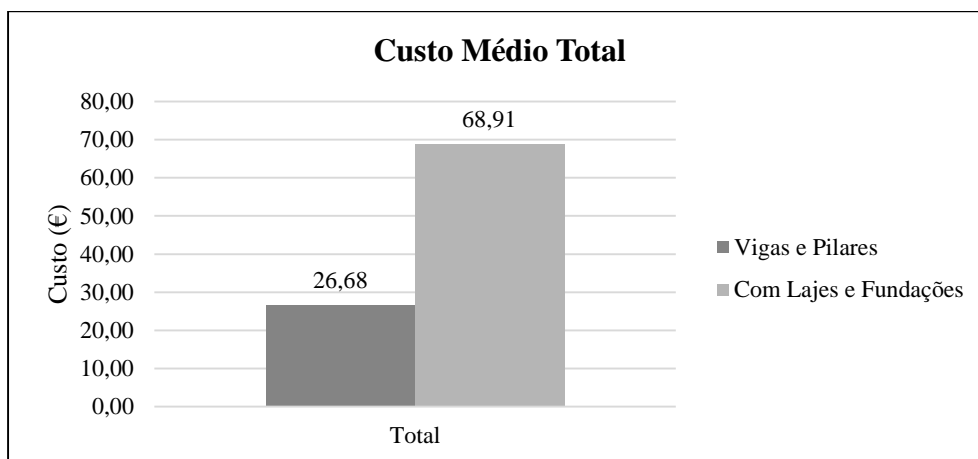


Gráfico 45: Comparação do custo médio total sem e com o custo de lajes e fundações.

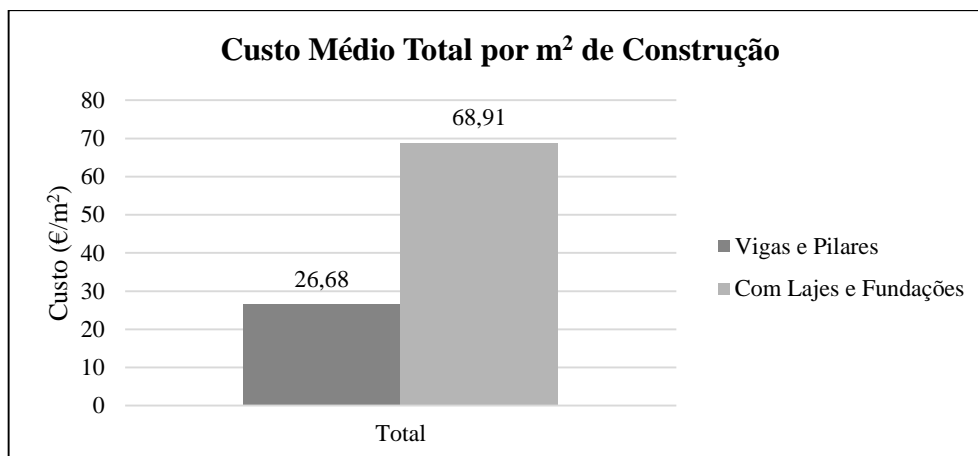


Gráfico 46: Comparação do custo médio total por m² de com e sem o custo de lajes e fundações.

Concluiu-se, inevitavelmente, que o modo como são elaborados os projetos de estruturas tem implicações nas quantidades de materiais consumidas e nos custos dos mesmos, e o dimensionamento segundo a regulamentação atualmente em vigor em Portugal e as novas regulamentações europeias não introduzem alterações relevantes, caso se adote uma classe de ductilidade baixa. Salienta-se que a regulamentação europeia exige uma classe de ductilidade média para a maior parte do país, apesar de alguma flexibilidade do Anexo Nacional do Eurocódigo 8. Caso, se adote uma classe de ductilidade média, o acréscimo da quantidade de aço é muito relevante e o acréscimo do custo da superestrutura porticada é relevante. Contudo, é inquestionável que o futuro passará pela utilização da regulamentação europeia. Este facto é observado no estudo paramétrico, onde se analisou a influência das variáveis mais relevantes de projeto através da variação das mesmas, sendo perceptível a importância da classe de ductilidade devido às variações significativas que se obtiveram, em termos de quantidades de aço e do custo total da estrutura. Verificou-se ainda que a alteração da localização do edifício do Porto para Lisboa implica um aumento de custo moderado na superestrutura porticada, enquanto a alteração da classe de aço e de betão não tem influência relevante nos custos.

Como já foi referido, as quantidades totais necessárias de betão e cofragem dependem apenas das dimensões dos elementos, contudo, a quantidade total de armadura depende da dimensão dos elementos e dos esforços a que os mesmos estão sujeitos. O custo total da estrutura cresce com o aumento do nível da ação sísmica imposta (do Porto para Lisboa) e com a classe de ductilidade pretendida para o edifício, tendo-se concluído que este último é o parâmetro mais relevante na variação do custo total dos edifícios em análise no estudo paramétrico. Assim, para determinar a influência da classe de ductilidade na quantidade de armadura necessária em vigas

e pilares, aplicou-se a classe de ductilidade média a todos os edifícios da amostra geral. Concluiu-se que as exigências associadas ao nível de ductilidade média originam um aumento considerável nas quantidades necessárias de armadura na superestrutura porticada, tendo-se obtido um acréscimo da quantidade total de armadura entre a classe de ductilidade baixa (DCL) e a classe de ductilidade média (DCM) de cerca de 47% ($29527 / 20059 = 1,47$). No Gráfico 47 apresenta-se a comparação entre a quantidade de armadura de DCL para DCM por número de pisos e no Gráfico 48 as respetivas quantidades médias totais relativas ao aumento da quantidade total de aço para as classes de ductilidade em análise.

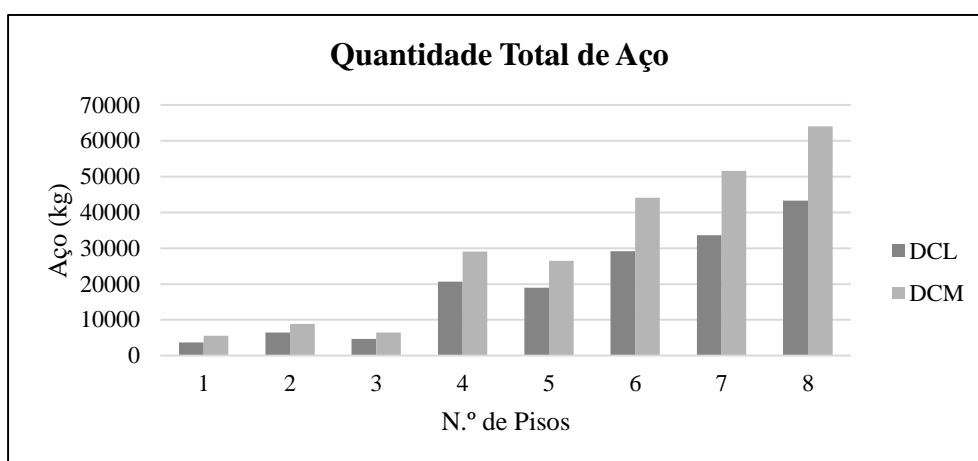


Gráfico 47: Comparação da quantidade total de armadura necessária para as classes de ductilidade baixa e média por número de pisos.

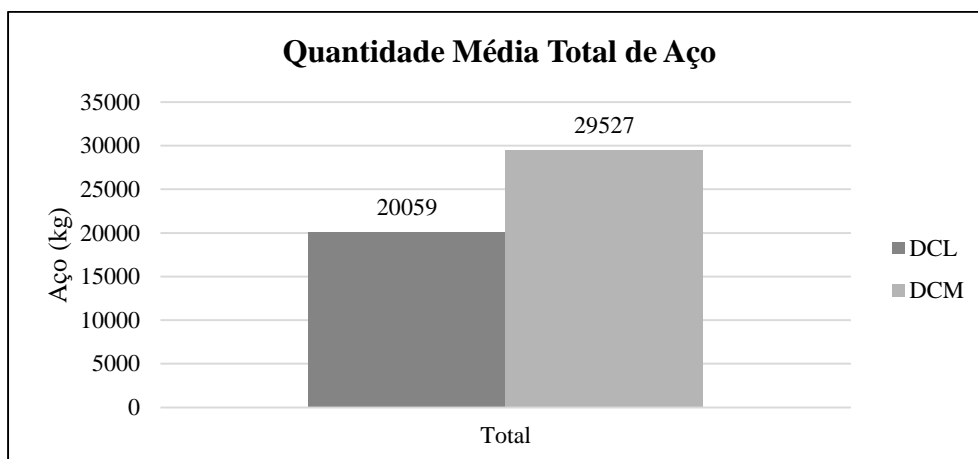


Gráfico 48: Comparação da quantidade média total de armadura necessária para as classes de ductilidade baixa e média.

Analisando os valores obtidos da quantidade total necessária de armadura para a amostra geral de edifícios, concluiu-se que o acréscimo da quantidade necessária de armadura traduz-se num aumento do custo total de armadura de 13%. Consequentemente, em termos do custo total da

superestrutura porticada, verifica-se um acréscimo de 13% ($66082,05 / 58306,48 = 1,13$) quando se passa de uma classe de ductilidade baixa para média. No Gráfico 49 apresenta-se o aumento do custo total de armadura da amostra geral de edifícios de DCL para DCM por número de pisos e no Gráfico 50 os respetivos custos totais médios.

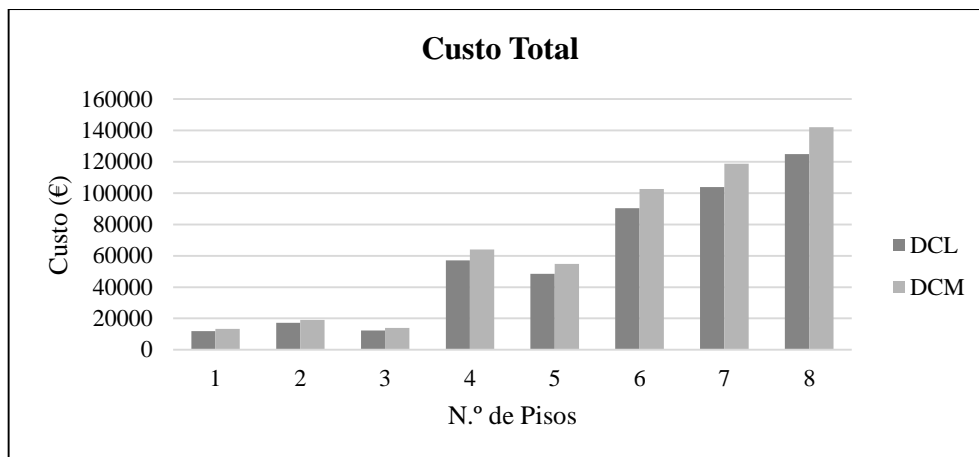


Gráfico 49: Comparação do custo total da superestrutura porticada para as classes de ductilidade baixa e média por número de pisos.

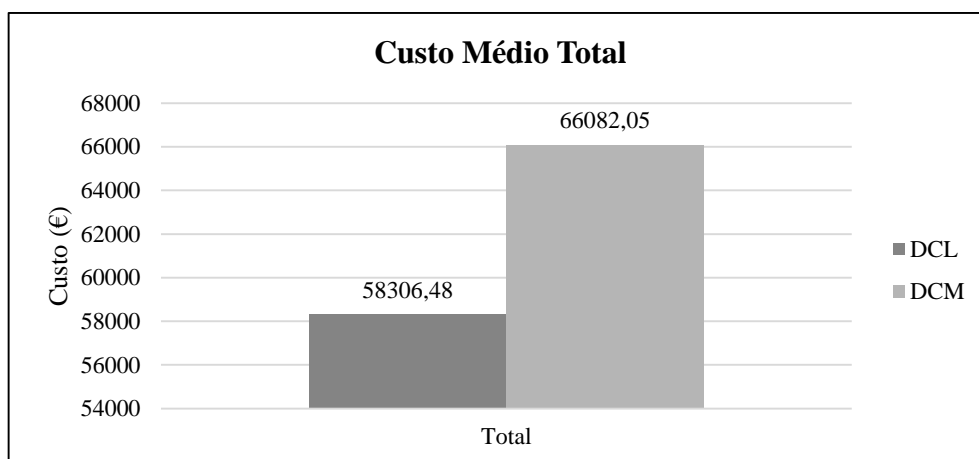


Gráfico 50: Comparação do custo médio total da superestrutura porticada para as classes de ductilidade baixa e média.

Face aos números apresentados antes da relação entre o custo da superestrutura porticada e a mesma incluindo as fundações e lajes, o custo global da estrutura (com fundações e lajes) aumenta apenas cerca de 4,5%. Admitindo que o custo da estrutura representa cerca de 30% do valor total da construção, verifica-se que a passagem da antiga regulamentação nacional para a regulamentação europeia (ductilidade média) se traduz num aumento de custo na construção inferior a 1,5%.

Com a definição dos indicadores de projeto pretende-se disponibilizar estimativas que possam ser utilizadas na tomada de decisão do sistema estrutural mais adequado num edifício de betão armado, tanto em aspetos técnicos como económicos. Esta informação tem a particularidade de apresentar estimativas para a regulamentação em vigor e para as novas regulamentações europeias. Assim, o conhecimento do trabalho desenvolvido na presente dissertação pode ser vantajoso, na medida em que constitui uma fonte de informação, para os utilizadores de programas de cálculo automático, possibilitando uma estimativa do custo e uma estimativa associada à utilização da diferente regulamentação. Considera-se que existem ainda perspectivas para trabalhos futuros, uma vez que a versatilidade do tema desenvolvido torna-o passível de continuidade ou aperfeiçoamento, quer ao nível dos elementos de projeto em análise, quer ao nível das variáveis relevantes de projeto.

A essência dos indicadores de projeto e dos custos médios poderá ser aplicada a vários intervenientes do processo e, dado que os custos aqui apresentados não incluem custos fixos, seria interessante avaliar a influência nos custos totais de outros fatores, como por exemplo da mão de obra, equipamentos de betonagem, vibração, entre outros, para uma definição mais exata dos custos médios. Seria ainda importante estimar de forma cuidada o custo das lajes, das fundações e dos acabamentos, para refletir sobre o real aumento do custo da construção com a nova regulamentação e poder estimar custos parcelares de forma adequada. Poderia também ser interessante aplicar este estudo a outros casos práticos, visto que a metodologia aqui proposta apenas foi desenvolvida para vigas e pilares de betão armado de edifícios de cariz habitacional.

Outra abordagem pertinente seria investigar e detalhar com mais cuidado as origens das diferenças obtidas na variação de parâmetros de dimensionamento que se considerem importantes do ponto de vista do dimensionamento estrutural, segundo as novas regulamentações europeias.

Por fim, seria interessante desenvolver uma metodologia de validação simplificada de resultados de projeto, obtidos através de programas de cálculo automático, com base nos indicadores básicos de projeto.

Referências

- [1] CYPE Ingenieros S. A. (2013). CYPECAD: Memória de Cálculo. Top Informática, Lda..
- [2] RSA (1983). Regulamento de Segurança e Acções para estruturas de Edifícios e Pontes. Decreto Lei n.º 235/83.
- [3] Eurocódigo 1 - NP EN 1991-1-1 (2009). Acções em Estruturas. Parte 1-1: Acções gerais. Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios.
- [4] REBAP (1983). Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado. Decreto-Lei nº349/83.
- [5] Eurocódigo 2 - NP EN 1992-1-1 (2010). Projeto de Estruturas de Betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios..
- [6] Instituto Nacional de Estatística (2011). Estatísticas da Construção e Habitação. Lisboa.
- [7] Oliveira, D. V. (2009). Dinâmica de Estruturas e Engenharia Sísmica - Aspectos Regulamentares (Eurocódigo 8, parte 1). Unidade Curricular de Dinâmica de Estruturas e Engenharia Sísmica, Universidade do Minho, Guimarães.
- [8] Andrade, M.; Romão, X. (2008). Comparação dos Efeitos da Acção Sísmica do EC8 e do RSA. Apresentado em Encontro Nacional de Betão Estrutural, Universidade do Minho, Guimarães.
- [9] Eurocódigo 8 - NP EN 1998-1 (2010). Projecto de Estruturas para Resistência aos Sismos. Parte 1: Regras Gerais, Acções Sísmicas e Regras para Edifícios.
- [10] Almeida, J.; Costa, A. (2007). Dimensionamento de Estruturas de Betão de Acordo com os Eurocódigos - Módulo 7: Dimensionamento Sísmico. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [11] Lopes, H. (2007). Comparação do Eurocódigo 8 com o RSA/REBAP. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

- [12] Fragoso, M. R.; Barros, M. J. (2005). Espectros de Resposta de Movimentos Sísmicos Consistentes com Histórias de Deslocamentos Velocidades e Acelerações. *Revista Engenharia Civil*, no. 22, pp. 23-34.
- [13] Coelho, F. (2010). *Análise e Dimensionamento à Acção Sísmica - Aplicação a um Caso Prático*. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [14] Alvez, C. (2012). *Análise da Influência das Zonas Sísmicas e Classes de Ductilidade no Projeto de Estruturas de Edifícios*. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [15] Dimas, T. (2014). *Análise de Estruturas de Edifícios Sujeitas a Ações Acidentais*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- [16] Rocha, J. (2009). *Aços de Ductilidade Especial em Estruturas de Betão Armado*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- [17] Silva, J. (2010). *Avaliação do Comportamento Sísmico de Edifícios de Betão Armado Dimensionados pelo EC8*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- [18] Coutinho, J. (2005). *Aços: Varões para Betão Armado*, Unidade Curricular de Materiais de Construção I, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

Anexos

Anexo A

Dados fornecidos pelos utilizadores

1 Piso

Edifício N.º	Ano	Categoria de Utilização	Regulamento			Materiais		N.º Pisos	N.º Pisos Enterrados	A. Construção (m²)	Tipologia
			Betão Armado	Ação Sísmica	Zona Sísmica	Betão	Aço				
1	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	1	0	242,84	Maciça
2	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C25/30	A400	1	0	356,60	Maciça
3	2007	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	1	0	762,75	Vigotas
4	2007	Domésticos e residenciais	EC2	EC8	1,3/2,3	C20/25	A400	1	0	164,92	Maciça
5	2007	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	1	0	601,82	Maciça
6	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	1	0	290,69	Maciça
7	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C30/37	A400	1	0	397,79	Maciça
8	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	1	0	252,62	Maciça
9	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C16/20	A400	1	0	531,19	Vigotas
10	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	1	0	636,45	Vigotas
11	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A500	1	0	857,36	Vigotas
12	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	1	0	494,33	Vigotas
13	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	1	0	219,76	Maciça
14	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	1	0	180,48	Vigotas
15	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	1	0	280,62	Maciça
16	2010	Domésticos e residenciais	EC2	RSA	B	C30/37	A500	1	0	431,50	Maciça
17	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C25/30	A400	1	0	205,52	Maciça
18	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	1	0	341,14	Vigotas
19	2012	Domésticos e residenciais	EC2	EC8	1,6/2,5	C20/25	A400	1	0	215,15	Vigotas
20	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	1	0	907,49	Vigotas

2 Pisos

Edifício N.º	Ano	Categoria de Utilização	Regulamento			Materiais		N.º Pisos	N.º Pisos Enterrados	A. Construção (m ²)	Tipologia
			Betão Armado	Ação Sísmica	Zona Sísmica	Betão	Aço				
1	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	2	0	435,59	Vigotas
2	2006	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	2	0	229,33	Vigotas
3	2007	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	2	0	489,55	Vigotas
4	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C30/37	A400	2	0	206,80	Maciça
5	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	2	0	435,40	Vigotas
6	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	2	0	2604,02	Maciça
7	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	2	0	517,58	Vigotas
8	2010	Domésticos e residenciais	EC2	RSA	D	C20/25	A400	2	0	1150,15	Maciça
9	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	2	0	416,81	Vigotas
10	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	2	0	236,97	Vigotas
11	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	2	0	454,62	Vigotas
12	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	2	0	444,70	Vigotas
13	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	2	0	466,07	Vigotas
14	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	2	0	731,52	Vigotas
15	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	2	0	521,81	Maciça
16	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C30/37	A500	2	0	923,91	Fungiforme
17	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	2	0	702,02	Vigotas
18	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	2	0	1679,87	Maciça
19	2013	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	2	0	235,49	Vigotas
20	2013	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	2	0	395,41	Maciça

3 Pisos

Edifício N.º	Ano	Categoria de Utilização	Regulamento			Materiais		N.º Pisos	N.º Pisos Enterrados	A. Construção (m ²)	Tipologia
			Betão Armado	Ação Sísmica	Zona Sísmica	Betão	Aço				
1	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C16/20	A400	3	0	550,21	Vigotas
2	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	3	0	1118,51	Fungiforme
3	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	3	0	309,59	Maciça
4	2007	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	3	0	283,40	Maciça
5	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A500	3	0	710,11	Maciça
6	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	3	1	1405,13	Vigotas
7	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	3	0	481,43	Maciça
8	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	3	0	669,09	Vigotas
9	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C30/37	A400	3	0	459,63	Maciça
10	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C20/25	A400	3	0	541,04	Vigotas
11	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C20/25	A400	3	0	373,55	Maciça
12	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	3	0	3041,49	Maciça
13	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	3	0	281,45	Maciça
14	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	3	1	357,71	Maciça
15	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	3	1	1816,71	Maciça
16	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	3	0	551,75	Fungiforme
17	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A400	3	0	625,85	Maciça
18	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	3	0	973,73	Vigotas
19	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C30/37	A400	3	1	1475,28	Maciça
20	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	3	0	309,62	Maciça

4 Pisos

Edifício N.º	Ano	Categoria de Utilização	Regulamento			Materiais		N.º Pisos	N.º Pisos Enterrados	A. Construção (m ²)	Tipologia
			Betão Armado	Ação Sísmica	Zona Sísmica	Betão	Aço				
1	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	4	0	927,13	Vigotas
2	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C16/20	A400	4	0	3526,17	Vigotas
3	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	4	1	7420,31	Maciça
4	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C20/25	A400	4	0	1984,09	Maciça
5	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A400	4	0	552,84	Vigotas
6	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	4	0	2553,23	Vigotas
7	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	4	1	808,75	Maciça
8	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	4	0	3732,35	Vigotas
9	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	4	0	1888,00	Vigotas
10	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	4	1	347,88	Vigotas
11	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A500	4	0	890,72	Maciça
12	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A500	4	0	2052,29	Maciça
13	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	4	0	1387,76	Vigotas
14	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	4	0	357,58	Fungiforme
15	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A500	4	0	3863,80	Fungiforme
16	2013	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	4	0	2116,64	Maciça
17	2014	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A500	4	0	447,22	Maciça
18	2014	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A500	4	0	1182,74	Vigotas
19	2014	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	4	0	346,01	Vigotas
20	2014	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	4	1	2137,81	Maciça

5 Pisos

Edifício N.º	Ano	Categoria de Utilização	Regulamento			Materiais		N.º Pisos	N.º Pisos Enterrados	A. Construção (m ²)	Tipologia
			Betão Armado	Ação Sísmica	Zona Sísmica	Betão	Aço				
1	2004	Domésticos e residenciais	EC2	RSA	A	C20/25	A400	5	1	1503,21	Maciça
2	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	5	0	4167,84	Maciça
3	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C25/30	A400	5	0	1108,73	Vigotas
4	2006	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	5	0	924,97	Maciça
5	2006	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C20/25	A400	5	0	1453,11	Maciça
6	2006	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A500	5	0	1002,59	Maciça
7	2007	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	5	0	1368,05	Maciça
8	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A500	5	1	1893,91	Maciça
9	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A500	5	0	757,35	Maciça
10	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	5	1	2549,06	Maciça
11	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C20/25	A400	5	0	1726,87	Fungiforme
12	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A500	5	0	1592,51	Vigotas
13	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	5	0	2099,55	Maciça
14	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	5	0	1839,39	Maciça
15	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	5	0	1611,63	Maciça
16	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C30/37	A500	5	0	3042,23	Maciça
17	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A500	5	0	1606,21	Vigotas
18	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	5	0	602,6	Maciça
19	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C30/37	A500	5	0	1805,62	Fungiforme
20	2014	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	5	0	2060,12	Maciça

6 Pisos

Edifício N.º	Ano	Categoria de Utilização	Regulamento			Materiais		N.º Pisos	N.º Pisos Enterrados	A. Construção (m ²)	Tipologia
			Betão Armado	Ação Sísmica	Zona Sísmica	Betão	Aço				
1	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A500	6	2	7128,02	Maciça
2	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C20/25	A400	6	1	2935,77	Maciça
3	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	6	2	5117,45	Fungiforme
4	2006	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	6	1	1527,88	Maciça
5	2007	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	6	0	1670,05	Maciça
6	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A500	6	2	5779,73	Fungiforme
7	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C30/37	A400	6	1	2213,79	Maciça
8	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A400	6	2	9018,68	Maciça
9	2010	Domésticos e residenciais	EC2	RSA	D	C25/30	A400	6	0	2448,44	Vigotas
10	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C30/37	A400	6	0	7952,22	Maciça
11	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A500	6	0	1689,41	Fungiforme
12	2010	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	6	1	1611,63	Maciça
13	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	6	0	1699,05	Maciça
14	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C25/30	A400	6	1	1529,15	Fungiforme
15	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	6	2	2857,06	Maciça
16	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	6	2	7546,32	Maciça
17	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	6	2	2858,19	Maciça
18	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	6	2	2037,93	Maciça
19	2013	Domésticos e residenciais	EC2	EC8	1,6/2,4	C25/30	A400	6	0	1644,36	Maciça
20	2013	Domésticos e residenciais	EC2	RSA	B	C30/37	A500	6	1	4281,35	Maciça

7 Pisos




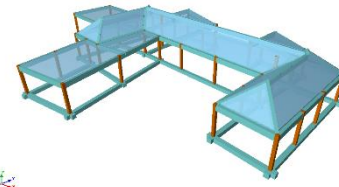
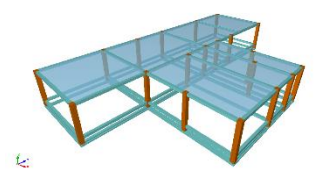
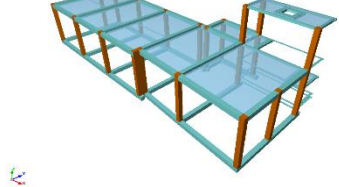
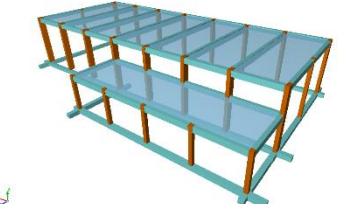

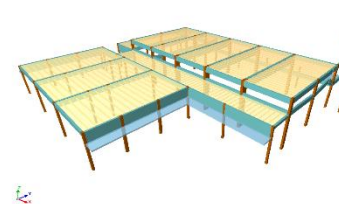
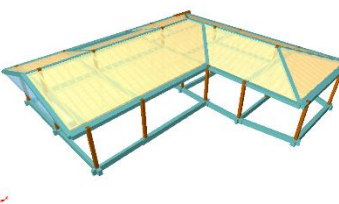
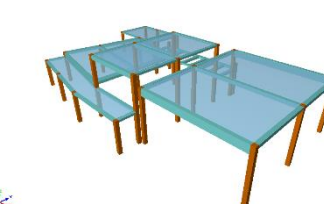

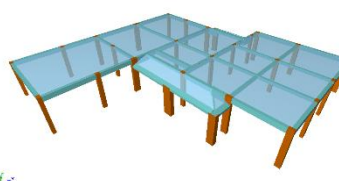
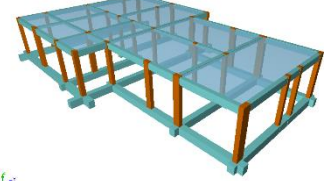
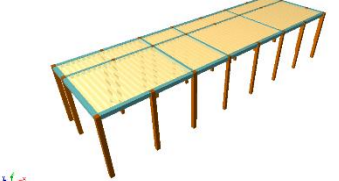
Edifício N.º	Ano	Categoria de Utilização	Regulamento			Materiais		N.º Pisos	N.º Pisos Enterrados	A. Construção (m ²)	Tipologia
			Betão Armado	Ação Sísmica	Zona Sísmica	Betão	Aço				
1	2004	Domésticos e residenciais	EC2	EC8	A	C20/25	A400	7	0	2765,25	Vigotas
2	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	7	1	9795,3	Maciça
3	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C16/20	A400	7	0	3612,32	Vigotas
4	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	7	1	2844,61	Vigotas
5	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	7	0	3129,48	Fungiforme
6	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	7	0	2423,41	Vigotas
7	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	7	0	4864,97	Vigotas
8	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	7	1	2440,31	Vigotas
9	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	7	0	6890,28	Fungiforme
10	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C20/25	A400	7	0	2524,75	Fungiforme
11	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	7	0	2233,06	Maciça
12	2006	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	C	C20/25	A400	7	2	5228,76	Fungiforme
13	2007	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	7	0	3072,92	Maciça
14	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	7	0	2433,39	Fungiforme
15	2009	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C16/20	A400	7	0	2672,08	Vigotas
16	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	7	1	6304,2	Vigotas
17	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	7	2	3610,67	Fungiforme
18	2012	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	7	0	2246,67	Maciça
19	2014	Domésticos e residenciais	EC2	RSA	C	C30/37	A400	7	2	5881,13	Maciça
20	2014	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	7	3	4291,53	Maciça

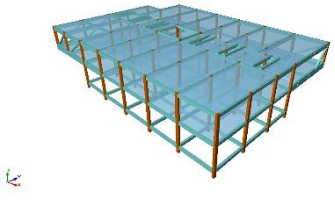
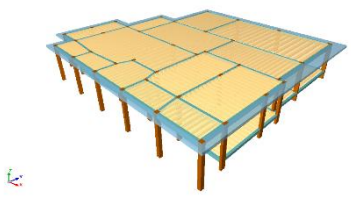
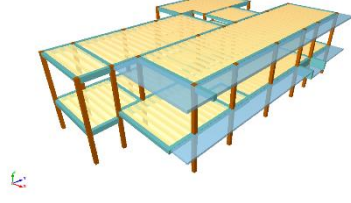
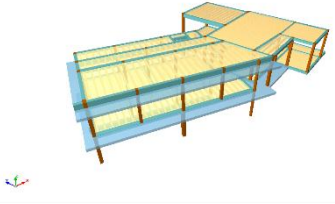
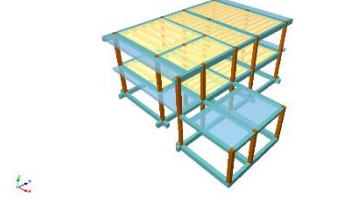
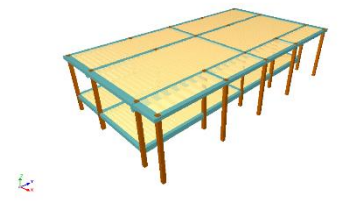

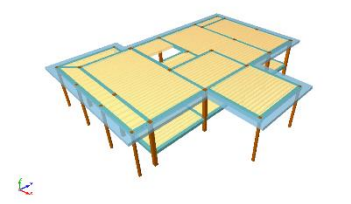
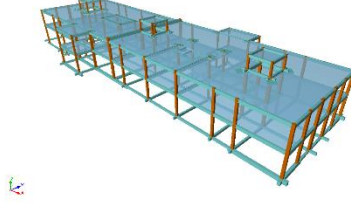
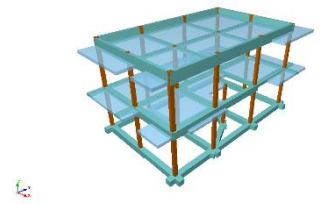

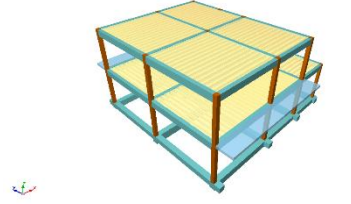
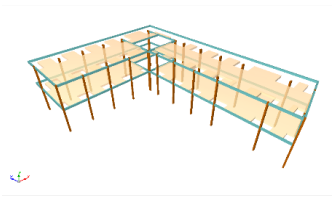
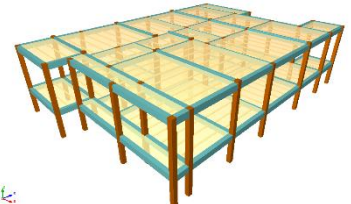
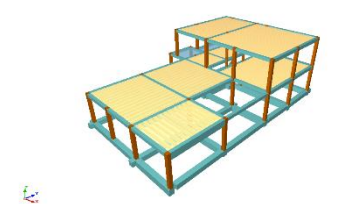
8 Pisos

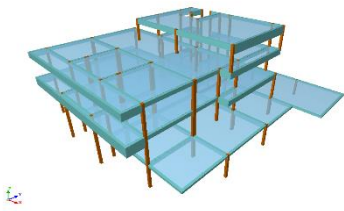
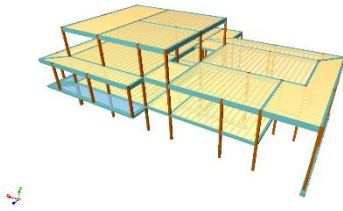
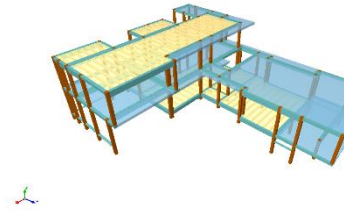
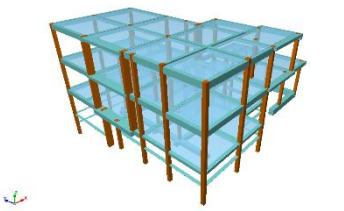
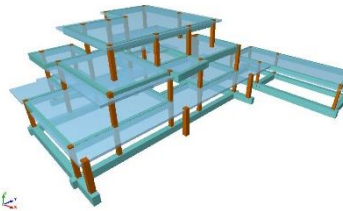
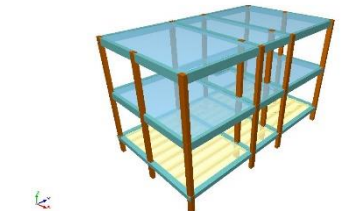
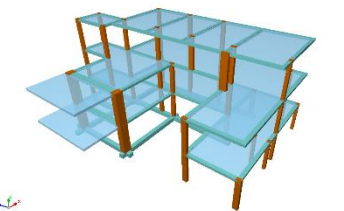

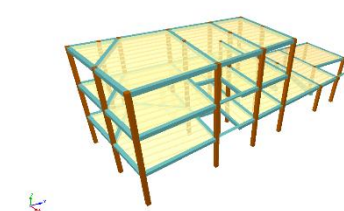
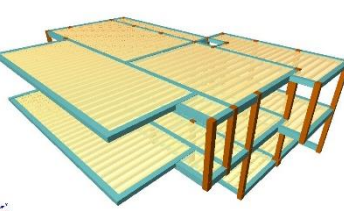
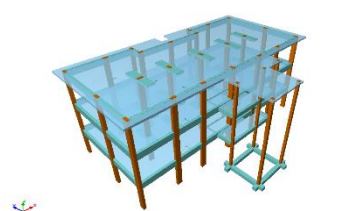
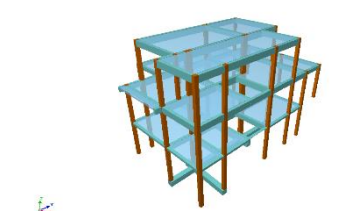
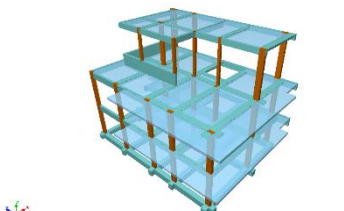
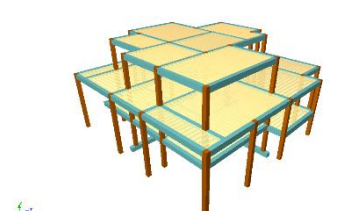
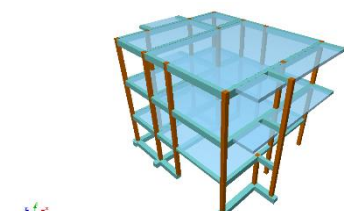
Edifício N.º	Ano	Categoria de Utilização	Regulamento			Materiais		N.º Pisos	N.º Pisos Enterrados	A. Construção (m ²)	Tipologia
			Betão Armado	Ação Sísmica	Zona Sísmica	Betão	Aço				
1	2003	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A400	8	1	6110,92	Fungiforme
2	2003	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A500	8	0	2675,88	Fungiforme
3	2003	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A500	8	2	6575,94	Fungiforme
4	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	8	0	6211,43	Vigotas
5	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	8	0	3921,78	Maciça
6	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	8	1	2645,69	Vigotas
7	2004	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C16/20	A400	8	1	2574,91	Maciça
8	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	8	1	5932,53	Maciça
9	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	8	0	2441,54	Vigotas
10	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	8	2	6533,28	Vigotas
11	2005	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A400	8	0	3706,67	Fungiforme
12	2006	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C20/25	A400	8	0	3077,01	Maciça
13	2006	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	8	0	4148,7	Vigotas
14	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	8	0	3119,49	Vigotas
15	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	8	2	1749,37	Maciça
16	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C25/30	A500	8	3	3785,15	Maciça
17	2008	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C20/25	A500	8	1	3290,65	Vigotas
18	2011	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	A	C20/25	A400	8	1	3610,67	Fungiforme
19	2013	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	D	C25/30	A400	8	0	3202,6	Vigotas
20	2014	Privado (Habitações)	REBAP	RSA	B	C16/20	A400	8	2	5695,50	Maciça

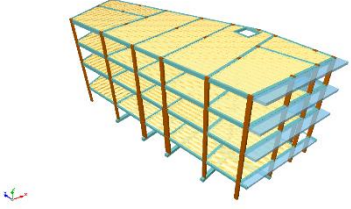

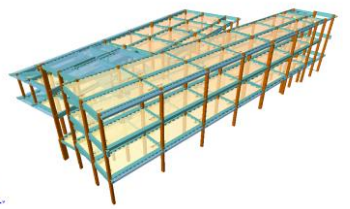
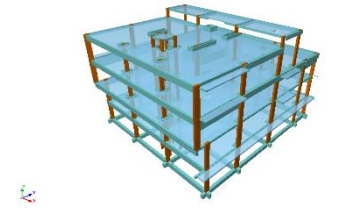
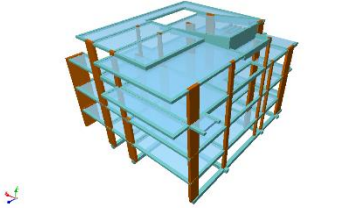
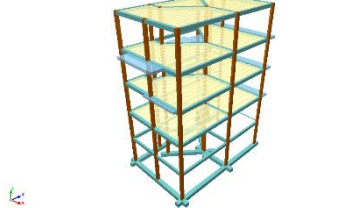
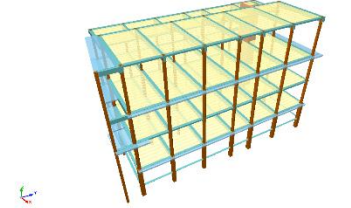
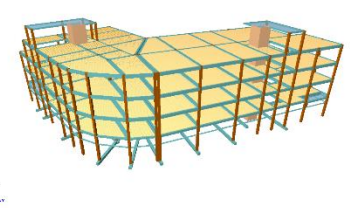
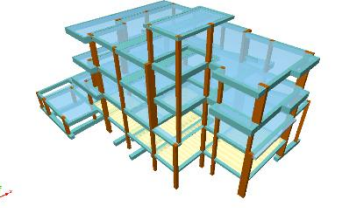
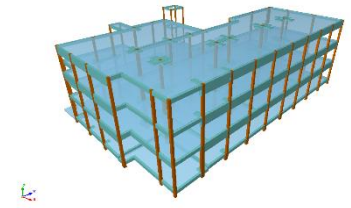
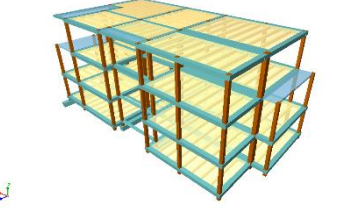
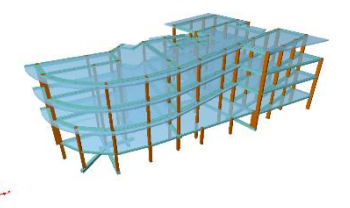
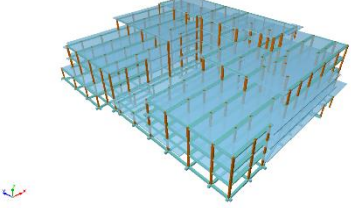
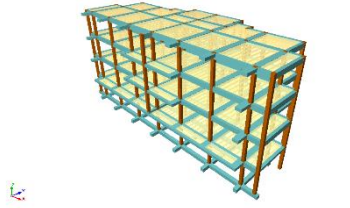
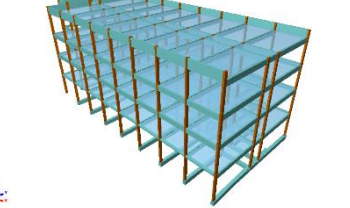
Anexo B

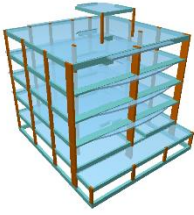
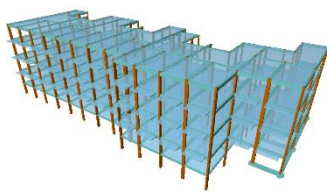
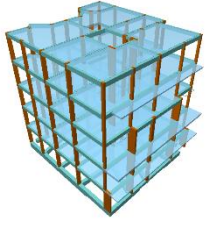
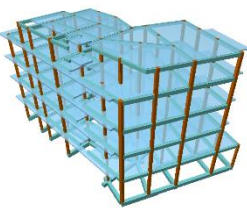
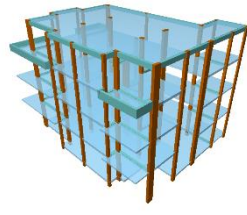
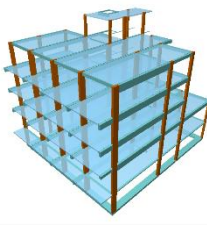
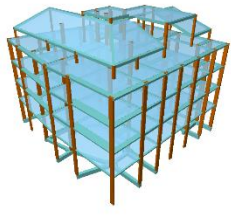
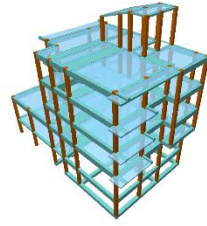
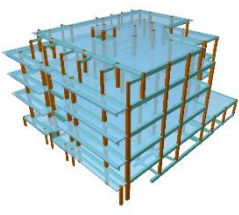
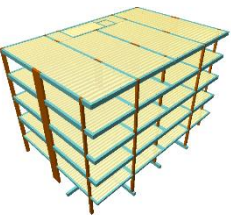

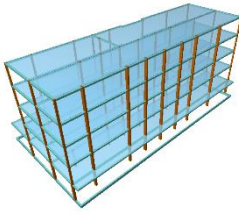
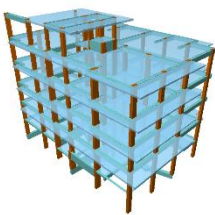
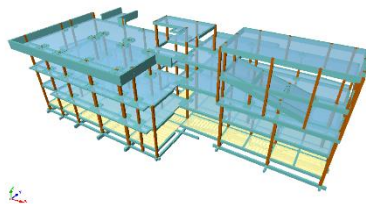
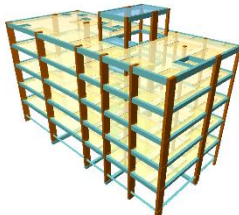
Vista tridimensional dos modelos da amostra geral de edifícios

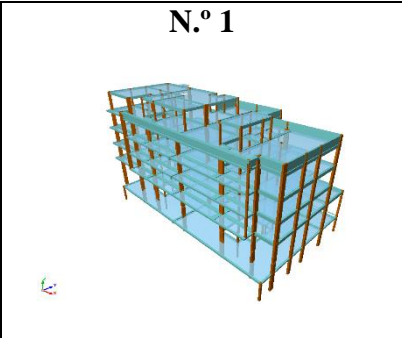
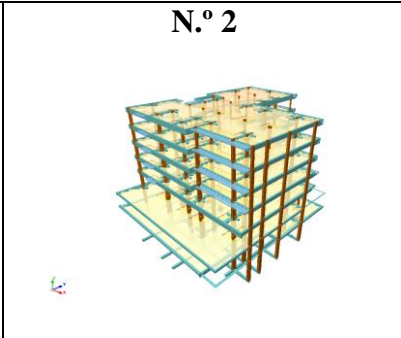
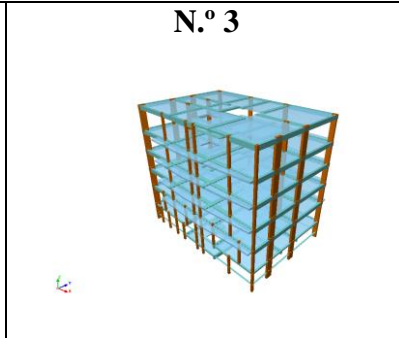
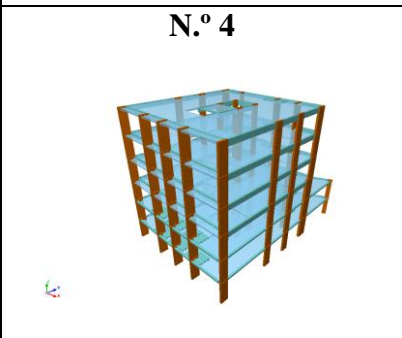
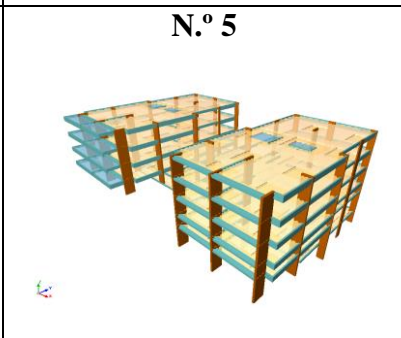
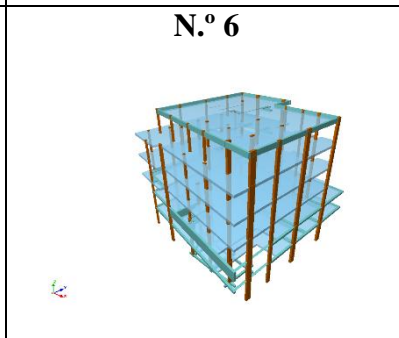
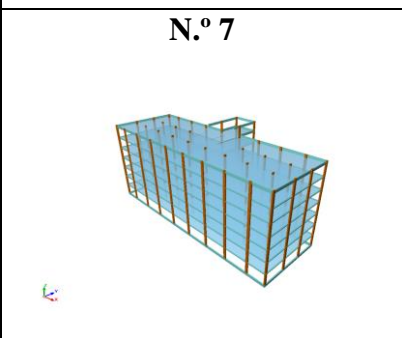
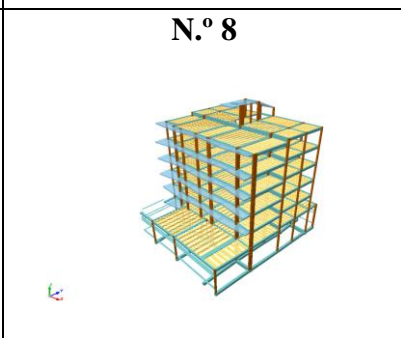
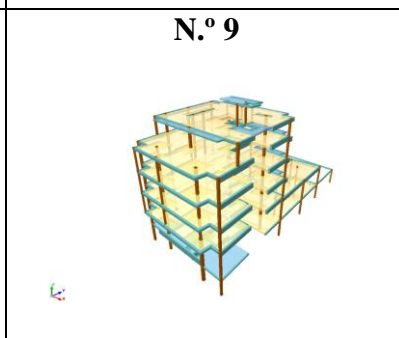
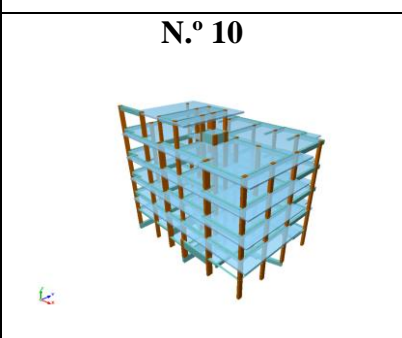
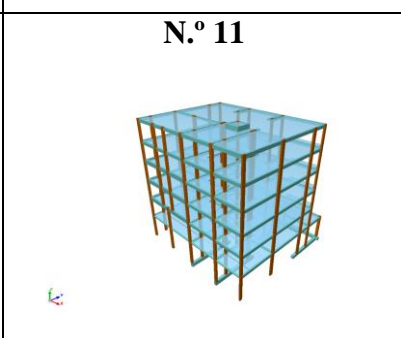
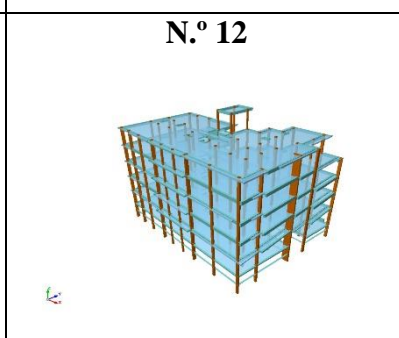
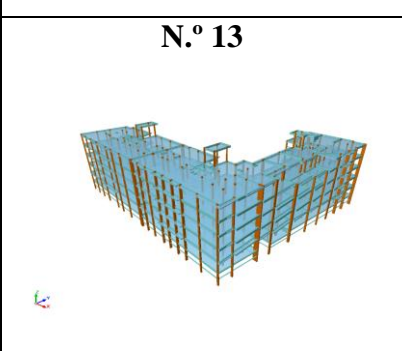
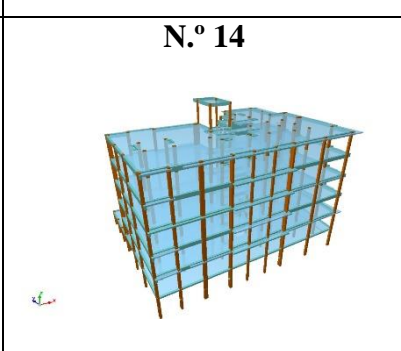
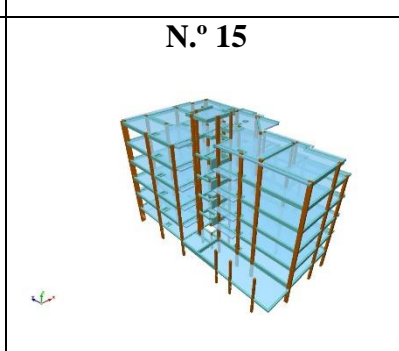
1 Piso		
N.º 1	N.º 2	N.º 3
		
N.º 4	N.º 5	N.º 6
		
N.º 7	N.º 8	N.º 9
		
N.º 10	N.º 11	N.º 12
		
N.º 13	N.º 14	N.º 15
		

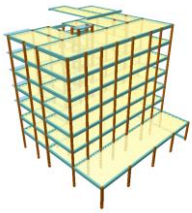
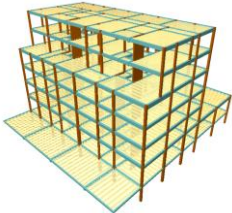
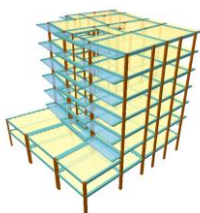
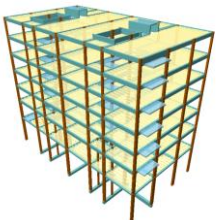
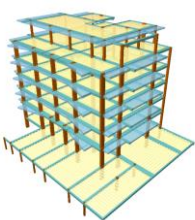
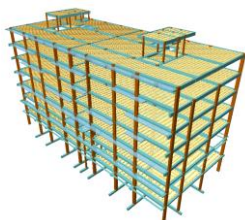
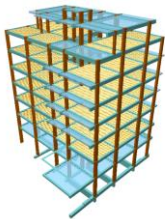
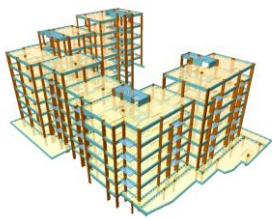
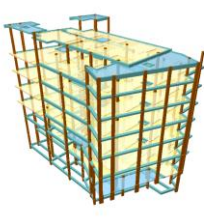
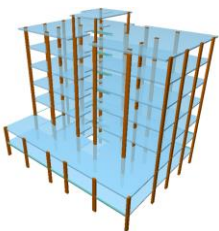
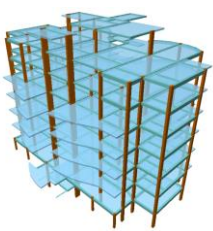
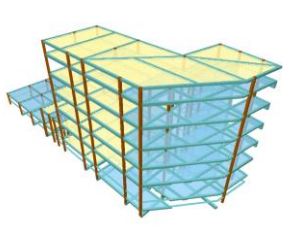
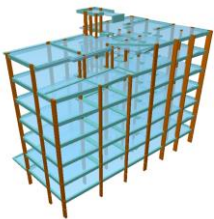
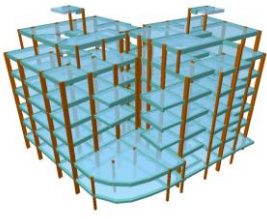
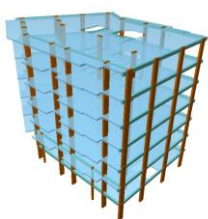
2 Pisos		
N.º 1	N.º 2	N.º 3
		
N.º 4	N.º 5	N.º 6
		
N.º 7	N.º 8	N.º 9
		
N.º 10	N.º 11	N.º 12
		
N.º 13	N.º 14	N.º 15
		

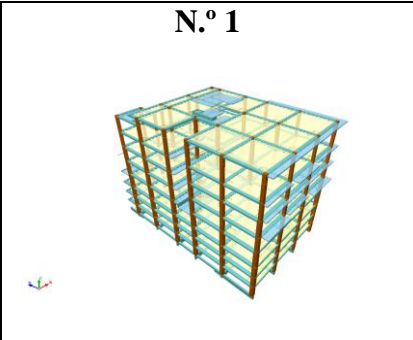
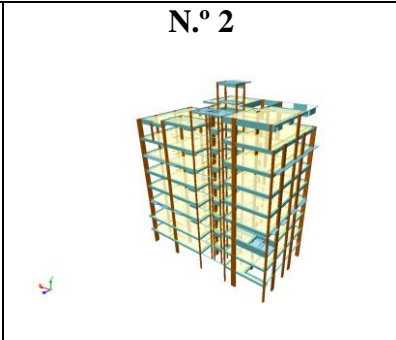
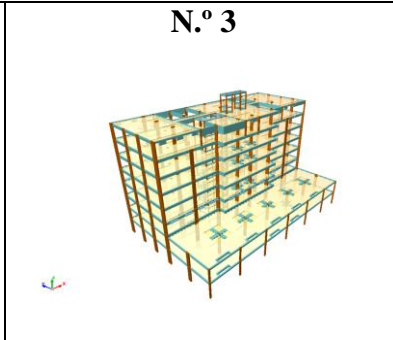
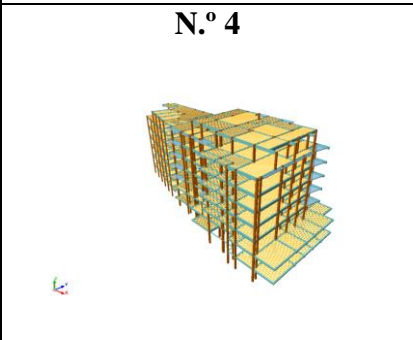
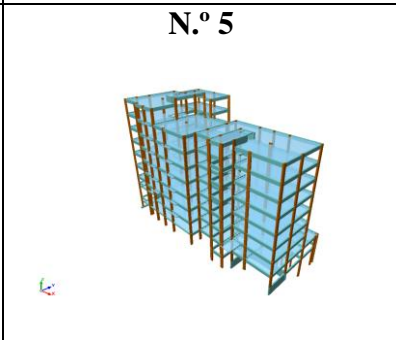
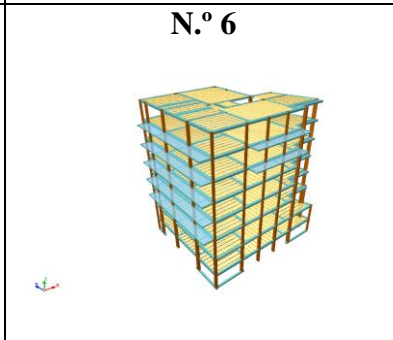
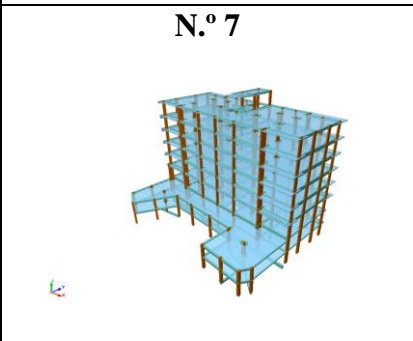
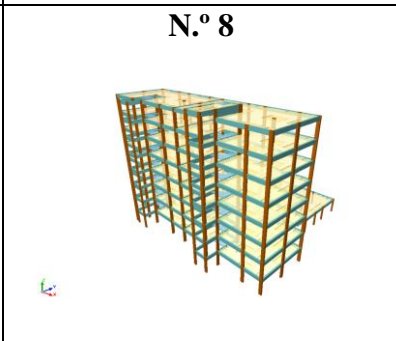
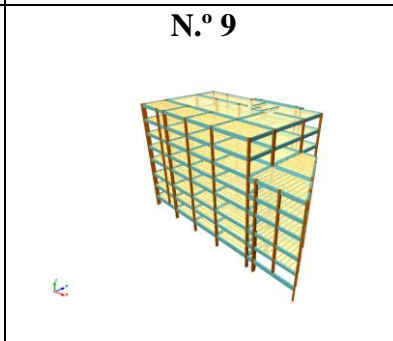
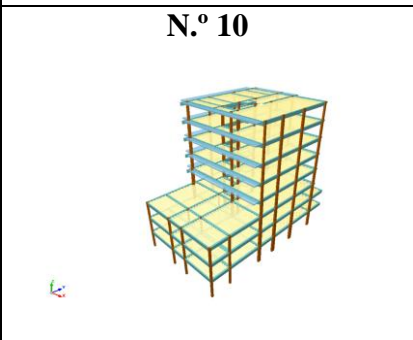
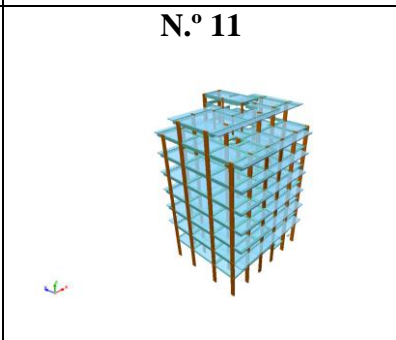
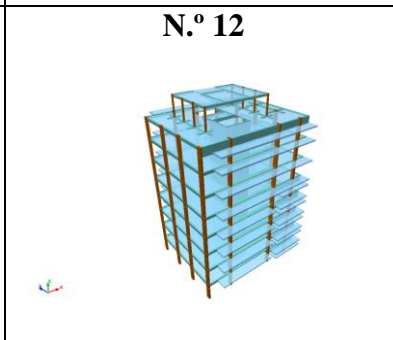
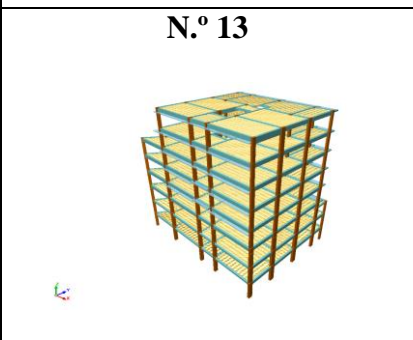
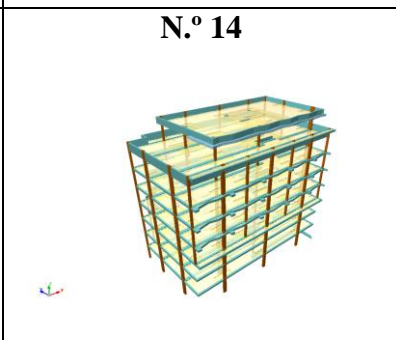
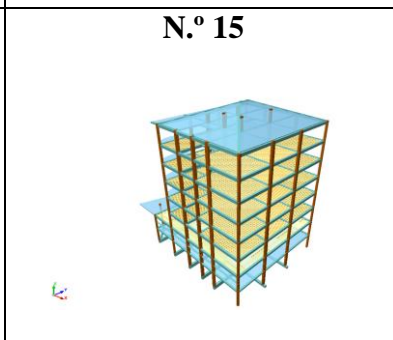
3 Pisos		
N.º 1 	N.º 2 	N.º 3 
N.º 4 	N.º 5 	N.º 6 
N.º 7 	N.º 8 	N.º 9 
N.º 10 	N.º 11 	N.º 12 
N.º 13 	N.º 14 	N.º 15 

4 Pisos		
N.º 1 	N.º 2 	N.º 3 
N.º 4 	N.º 5 	N.º 6 
N.º 7 	N.º 8 	N.º 9 
N.º 10 	N.º 11 	N.º 12 
N.º 13 	N.º 14 	N.º 15 

5 Pisos		
N.º 1 	N.º 2 	N.º 3 
N.º 4 	N.º 5 	N.º 6 
N.º 7 	N.º 8 	N.º 9 
N.º 10 	N.º 11 	N.º 12 
N.º 13 	N.º 14 	N.º 15 

6 Pisos		
N.º 1 	N.º 2 	N.º 3 
N.º 4 	N.º 5 	N.º 6 
N.º 7 	N.º 8 	N.º 9 
N.º 10 	N.º 11 	N.º 12 
N.º 13 	N.º 14 	N.º 15 

7 Pisos		
N.º 1 	N.º 2 	N.º 3 
N.º 4 	N.º 5 	N.º 6 
N.º 7 	N.º 8 	N.º 9 
N.º 10 	N.º 11 	N.º 12 
N.º 13 	N.º 14 	N.º 15 

8 Pisos		
N.º 1 	N.º 2 	N.º 3 
N.º 4 	N.º 5 	N.º 6 
N.º 7 	N.º 8 	N.º 9 
N.º 10 	N.º 11 	N.º 12 
N.º 13 	N.º 14 	N.º 15 

Anexo C

Quantidades de betão e aço da amostra geral de edifícios

1 Piso

Nº	REBAP+RSA				Nº	EC2+EC8			
	Betão (m ³)		Aço (kg)			Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares		Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	14,0	3,8	1121	935	1	14,0	3,8	999	846
2	56,8	26,2	3548	2937	2	56,8	26,2	3661	3073
3	12,5	3,3	900	605	3	12,5	3,3	835	594
4	35,3	6,0	3307	2681	4	35,3	6,0	2816	2829
5	18,0	14,1	1514	1894	5	18,0	14,1	1507	1445
6	28,6	15,1	4137	2721	6	28,5	15,1	4828	2395
7	51,4	19,5	5198	2753	7	51,3	19,5	4784	1982
8	59,8	21,1	4774	2465	8	59,8	21,1	3605	2699
9	17,7	4,6	1609	1245	9	17,6	4,6	1503	1028
10	11,6	5,1	1471	755	10	11,6	5,2	1661	980
11	10,4	4,3	907	583	11	10,4	4,3	966	510
12	14,7	8,7	1220	1074	12	14,7	8,7	1092	1135
13	10,2	6,5	787	806	13	10,2	6,5	813	597
14	10,6	9,5	740	1044	14	10,6	9,5	847	793
15	48,8	20,5	3572	2982	15	48,8	20,5	3710	2764
Média	26,7	11,2	2320	1699	Média	26,7	11,2	2242	1578
D. P.	18,6	7,6	1582	951	D. P.	18,7	7,6	1497	941

2 Pisos

Nº	REBAP+RSA				Nº	EC2+EC8			
	Betão (m ³)		Aço (kg)			Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares		Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	23,1	8,6	2126	1832	1	23,1	8,6	2012	1716
2	14,1	3,6	1257	1136	2	14,1	3,6	1228	1214
3	24,0	7,8	2080	1671	3	24,0	7,8	1984	1364
4	15,7	3,6	1484	843	4	15,7	3,6	1665	868
5	150,6	68,8	17404	18201	5	150,6	68,8	15398	15577
6	23,7	7,8	3124	1599	6	23,7	7,8	3395	2159
7	70,9	29,8	7417	5216	7	70,9	29,8	6348	7011
8	19,6	5,2	2013	864	8	19,6	5,2	2155	1008
9	14,1	4,7	1621	1452	9	14,1	4,7	1748	1413
10	17,4	6,9	2192	1135	10	17,4	6,9	2026	978
11	15,3	7,8	1305	972	11	15,3	7,8	1331	1051
12	15,4	10,2	2371	1563	12	15,4	10,2	1720	1110
13	10,2	14,5	798	1565	13	10,2	14,5	749	1494
14	113,2	44,3	7482	7683	14	113,2	44,3	7523	8111
15	13,6	4,6	1401	739	15	13,6	4,6	1648	737
Média	36,1	15,2	3605	3098	Média	36,1	15,2	3395	3054
D. P.	42,1	18,6	4332	4589	D. P.	42,1	18,6	3824	4127

3 Pisos

Nº	REBAP+RSA			
	Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	37,9	15,6	2682	2049
2	21,2	10,9	2657	1839
3	14,1	6,5	1126	1148
4	38,3	24,1	4442	4138
5	31,4	10,2	1943	1485
6	19,2	14,0	2336	1830
7	19,2	6,4	2200	1482
8	13,1	14,1	2039	2082
9	7,9	4,6	904	1134
10	22,1	5,1	1921	1359
11	25,7	12,8	2548	1990
12	27,0	12,5	2152	1602
13	31,7	9,3	3293	2358
14	56,0	17,1	5638	4803
15	14,2	6,2	1409	1762
Média	25,3	11,3	2486	2071
D. P.	12,4	5,3	1225	1041

Nº	EC2+EC8			
	Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	37,9	15,6	2654	2614
2	21,2	10,8	2658	1880
3	14,1	6,5	1127	1158
4	38,3	24,1	3536	5461
5	31,4	10,1	2109	1286
6	19,2	14,0	2351	1648
7	19,2	6,4	1970	1400
8	13,1	14,1	1768	1698
9	7,9	4,6	780	1156
10	22,1	5,2	2072	1268
11	25,7	12,8	2929	2367
12	27,0	12,6	2427	1980
13	31,7	9,3	3040	1938
14	56,0	17,1	5848	5250
15	14,2	6,2	1425	2054
Média	25,3	11,3	2446	2211
D. P.	12,4	5,3	1194	1348

4 Pisos

Nº	REBAP+RSA			
	Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	102,5	30,6	8112	6465
2	303,7	129,0	29138	25513
3	89,2	66,6	8741	9331
4	20,9	7,5	1997	1407
5	103,2	30,3	13403	8721
6	42,4	17,8	4833	3974
7	227,2	110,2	26622	17459
8	116,2	72,6	10728	10311
9	15,7	9,3	1780	1968
10	31,9	39,9	3462	4424
11	122,3	39,6	9143	9408
12	343,6	153,8	25491	18194
13	58,9	29,8	7105	6412
14	39,8	22,5	3408	3615
15	132,3	33,7	14535	20466
Média	116,6	52,9	11233	9845
D. P.	100,5	44,9	9068	7305

Nº	EC2+EC8			
	Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	102,5	30,6	7086	8127
2	303,7	129,0	33820	26681
3	89,2	66,6	7694	6744
4	20,9	7,5	2399	1657
5	103,2	30,3	11884	8437
6	42,4	17,8	5495	4466
7	227,2	110,2	22465	19674
8	116,2	72,6	11219	11434
9	15,7	9,3	1750	1590
10	31,9	39,9	2963	5498
11	122,3	39,6	9399	9745
12	343,6	153,8	25927	19545
13	58,9	29,8	6939	6523
14	39,8	22,5	3589	3923
15	132,3	33,7	11247	11893
Média	116,6	52,9	10925	9729
D. P.	100,5	44,9	9375	7193

5 Pisos

Nº	REBAP+RSA				Nº	EC2+EC8			
	Betão (m ³)		Aço (kg)			Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares		Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	50,6	54,3	6063	7540	1	50,6	54,4	6145	8346
2	142,5	63,4	24337	20072	2	142,5	63,5	23322	18885
3	43,3	45,5	3834	7116	3	43,3	45,5	3361	8190
4	73,5	54,9	5441	8385	4	73,4	54,9	4624	6587
5	18,8	26,1	2310	4654	5	18,8	26,0	1979	3948
6	67,7	28,7	9597	5743	6	67,7	28,7	7175	6947
7	69,7	65,1	9810	9508	7	69,7	65,1	10818	11002
8	57,6	25,7	3612	3283	8	57,6	25,7	4039	4809
9	114,3	65,3	15506	15231	9	114,3	65,3	14985	17035
10	71,2	35,3	8105	6683	10	71,2	35,3	7908	5129
11	75,0	82,6	10620	11603	11	75,0	82,5	11449	13808
12	27,2	66,9	7238	14184	12	27,2	66,9	6201	13458
13	84,0	47,8	9834	8789	13	84,0	47,8	8594	11799
14	222,0	80,5	18019	13397	14	222,0	80,5	16585	10681
15	74,2	59,0	7214	9556	15	74,1	59,1	6018	10531
Média	79,4	53,4	9436	9716	Média	79,4	53,4	8880	10077
D. P.	50,0	18,4	5911	4479	D. P.	50,0	18,4	5744	4425

6 Pisos

Nº	REBAP+RSA				Nº	EC2+EC8			
	Betão (m ³)		Aço (kg)			Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares		Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	148,7	90,8	12760	13256	1	148,6	90,8	9635	10929
2	211,7	194,0	18740	18746	2	211,7	194,0	14787	17531
3	81,9	84,5	10219	14473	3	81,9	84,5	10316	10884
4	78,0	114,6	9262	13522	4	78,0	114,6	8096	18483
5	186,4	267,5	15366	25543	5	186,4	267,6	12560	21269
6	34,0	100,9	3201	12009	6	33,9	100,6	4025	10976
7	115,8	317,1	16636	36340	7	115,8	317,1	19495	27410
8	121,6	82,8	19177	14287	8	121,6	83,0	15929	14090
9	59,6	81,0	4229	8505	9	59,5	81,2	3941	6760
10	84,0	47,8	9635	8726	10	84,0	47,8	8552	12109
11	63,3	40,7	8463	11267	11	63,2	40,8	7065	9165
12	81,5	98,2	8156	16116	12	81,5	98,3	8299	19371
13	248,0	258,8	23328	41522	13	247,9	258,7	24452	55064
14	84,6	104,3	7451	18888	14	84,5	104,3	7931	20154
15	93,7	82,4	8875	13720	15	93,8	82,4	10044	18756
Média	112,8	131,0	11700	17795	Média	112,8	131,0	11008	18197
D. P.	60,6	85,6	5789	9619	D. P.	60,6	85,6	5622	11601

7 Pisos

Nº	REBAP+RSA			
	Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	149,2	60,0	19280	21239
2	216,7	88,6	18682	15397
3	137,7	102,4	17907	16022
4	199,0	106,9	23882	21460
5	157,7	95,5	17942	11888
6	245,6	100,2	19887	12136
7	171,7	87,0	13727	16959
8	373,0	340,6	30006	46150
9	93,0	90,0	8098	16145
10	9,7	94,6	875	11975
11	108,7	54,4	10933	8277
12	109,7	43,1	19652	18183
13	115,0	91,3	11490	16352
14	434,2	375,6	28892	34958
15	58,7	215,8	5943	30904
Média	172,0	129,7	16480	19870
D. P.	112,0	100,5	8099	10132

Nº	EC2+EC8			
	Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	149,2	60,0	17954	23268
2	216,7	88,6	17675	13474
3	137,7	102,4	17339	12034
4	199,0	106,9	20953	16817
5	157,7	95,5	16493	10673
6	245,6	100,2	20103	14072
7	171,7	87,0	14511	15796
8	373,0	340,6	24922	35529
9	93,0	90,0	6800	13102
10	9,7	94,6	783	14022
11	108,7	54,4	11406	7359
12	109,8	43,1	14078	18457
13	115,0	91,3	12129	18038
14	434,2	375,6	26276	31754
15	58,7	215,8	4966	33267
Média	172,0	129,7	15093	18511
D. P.	112,0	100,5	7085	8611

8 Pisos

Nº	REBAP+RSA			
	Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	449,2	406,3	40140	62336
2	78,0	78,8	5362	14913
3	163,1	154,0	12588	26370
4	346,3	174,8	27213	19812
5	212,6	139,8	18977	31289
6	115,7	135,3	26337	20515
7	258,1	248,0	32010	37166
8	210,4	141,3	16831	23925
9	230,0	68,1	24219	13439
10	166,2	66,0	28618	26373
11	99,5	52,8	15171	11172
12	149,1	185,8	17642	40013
13	223,4	129,7	17969	15083
14	171,4	147,2	16006	32278
15	127,4	138,8	14437	14990
Média	200,0	151,1	20901	25978
D. P.	97,1	87,2	8792	13423

Nº	EC2+EC8			
	Betão (m ³)		Aço (kg)	
	Vigas	Pilares	Vigas	Pilares
1	449,2	406,3	40490	44082
2	78,0	78,8	5520	13117
3	163,1	154,0	12811	21725
4	346,3	174,8	28134	20199
5	212,6	139,8	15472	23937
6	115,7	135,3	23104	19118
7	258,1	248,0	33716	41323
8	210,4	141,3	15427	20467
9	230,0	68,1	25300	15961
10	166,2	66,0	22298	24142
11	99,5	52,8	13546	12482
12	149,1	185,8	13260	42924
13	223,4	129,7	17599	12156
14	171,4	147,2	14810	30426
15	127,4	138,8	14352	11212
Média	200,0	151,1	19723	23551
D. P.	97,1	87,2	9143	11261

Anexo D

Indicadores de consumo da amostra geral de edifícios

1 Piso

Nº	REBAP+RSA								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,057	0,016	0,073	4,62	3,85	8,47	80,30	244,76	115,64
2	0,074	0,034	0,109	4,65	3,85	8,50	62,45	112,18	78,14
3	0,076	0,020	0,096	5,46	3,67	9,13	71,88	185,58	95,37
4	0,059	0,010	0,069	5,49	4,45	9,95	93,74	449,08	145,16
5	0,062	0,048	0,110	5,21	6,52	11,72	84,30	134,80	106,47
6	0,072	0,038	0,110	10,40	6,84	17,24	144,75	180,08	156,97
7	0,081	0,031	0,111	8,17	4,33	12,49	101,21	141,54	112,29
8	0,070	0,025	0,094	5,57	2,88	8,44	79,78	117,10	89,49
9	0,036	0,009	0,045	3,25	2,52	5,77	90,90	270,07	127,92
10	0,053	0,023	0,076	6,69	3,44	10,13	126,37	146,89	132,66
11	0,058	0,024	0,082	5,03	3,23	8,26	87,04	135,90	101,29
12	0,052	0,031	0,083	4,35	3,83	8,17	82,94	123,31	97,95
13	0,050	0,032	0,081	3,83	3,92	7,75	77,23	123,81	95,39
14	0,049	0,044	0,093	3,44	4,85	8,29	70,14	110,13	89,07
15	0,054	0,023	0,076	3,94	3,29	7,22	73,21	145,61	94,62
Média	0,060	0,027	0,087	5,34	4,10	9,44	88,42	174,72	109,23
D. P.	0,012	0,011	0,019	1,89	1,21	2,73	21,78	89,39	22,48

Nº	EC2+EC8								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,057	0,016	0,073	4,11	3,48	7,60	71,56	221,47	103,77
2	0,075	0,034	0,109	4,80	4,03	8,83	64,41	117,20	81,07
3	0,076	0,020	0,096	5,06	3,60	8,66	67,01	180,00	90,67
4	0,059	0,010	0,069	4,68	4,70	9,38	79,82	473,87	136,85
5	0,062	0,048	0,110	5,18	4,97	10,16	83,91	102,85	92,22
6	0,072	0,038	0,110	12,14	6,02	18,16	169,17	158,50	165,48
7	0,081	0,031	0,111	7,52	3,11	10,63	93,27	101,59	95,56
8	0,070	0,025	0,094	4,20	3,15	7,35	60,24	128,22	77,93
9	0,036	0,009	0,045	3,04	2,08	5,12	85,20	222,99	113,75
10	0,053	0,023	0,076	7,56	4,46	12,02	143,56	189,92	157,86
11	0,058	0,024	0,081	5,35	2,83	8,18	92,80	118,88	100,41
12	0,052	0,031	0,083	3,89	4,04	7,94	74,39	130,31	95,21
13	0,050	0,032	0,081	3,96	2,90	6,86	79,86	91,71	84,48
14	0,049	0,044	0,093	3,94	3,69	7,62	80,28	83,65	81,88
15	0,054	0,023	0,076	4,09	3,05	7,13	75,98	134,57	93,33
Média	0,060	0,027	0,087	5,30	3,74	9,04	88,10	163,71	104,70
D. P.	0,012	0,011	0,019	2,27	1,00	3,03	29,65	96,58	27,40

2 Pisos

Nº	REBAP+RSA								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,053	0,020	0,073	4,88	4,21	9,09	91,99	213,52	124,90
2	0,062	0,015	0,077	5,48	4,95	10,43	88,96	320,00	135,35
3	0,049	0,016	0,065	4,25	3,41	7,66	86,81	213,41	117,99
4	0,076	0,017	0,093	7,18	4,08	11,25	94,52	233,52	120,51
5	0,058	0,026	0,084	6,68	6,99	13,67	115,58	264,47	162,28
6	0,046	0,015	0,061	6,04	3,09	9,13	131,70	205,53	149,94
7	0,062	0,026	0,088	6,45	4,54	10,98	104,67	174,97	125,49
8	0,047	0,013	0,060	4,83	2,07	6,90	102,55	165,20	115,73
9	0,059	0,020	0,079	6,84	6,13	12,97	115,29	310,92	164,07
10	0,038	0,015	0,053	4,82	2,50	7,32	125,98	165,21	137,08
11	0,033	0,017	0,050	2,80	2,09	4,89	85,18	125,10	98,61
12	0,021	0,014	0,035	3,24	2,14	5,38	154,46	152,79	153,79
13	0,010	0,015	0,025	0,81	1,60	2,41	78,16	108,23	95,78
14	0,067	0,026	0,094	4,45	4,57	9,03	66,07	173,55	96,28
15	0,058	0,020	0,077	5,95	3,14	9,09	103,39	160,30	117,84
Média	0,049	0,018	0,068	4,98	3,70	8,68	103,02	199,11	127,71
D. P.	0,018	0,005	0,020	1,72	1,57	3,04	22,78	62,08	22,51

Nº	EC2+EC8								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,053	0,020	0,073	4,62	3,94	8,56	87,06	200,00	117,64
2	0,062	0,016	0,077	5,35	5,29	10,65	86,85	337,22	137,66
3	0,049	0,016	0,065	4,05	2,79	6,84	82,84	174,20	105,35
4	0,076	0,017	0,093	8,05	4,20	12,25	106,12	240,44	131,24
5	0,058	0,026	0,084	5,91	5,98	11,90	102,24	226,34	141,17
6	0,046	0,015	0,061	6,56	4,17	10,73	143,25	277,51	176,43
7	0,062	0,026	0,088	5,52	6,10	11,62	89,57	234,95	132,65
8	0,047	0,013	0,059	5,17	2,42	7,59	110,23	192,73	127,64
9	0,060	0,020	0,079	7,38	5,96	13,34	123,97	302,57	168,41
10	0,038	0,015	0,053	4,46	2,15	6,61	116,77	141,74	123,88
11	0,033	0,017	0,050	2,86	2,26	5,11	86,82	135,26	103,12
12	0,021	0,014	0,035	2,35	1,52	3,87	112,05	109,04	110,85
13	0,010	0,015	0,025	0,76	1,52	2,29	73,29	103,32	90,88
14	0,067	0,026	0,094	4,48	4,83	9,31	66,44	183,09	99,24
15	0,058	0,020	0,077	7,00	3,13	10,13	121,53	159,87	131,26
Média	0,049	0,018	0,068	4,97	3,75	8,72	100,60	201,22	126,49
D. P.	0,018	0,005	0,021	1,96	1,63	3,27	21,10	69,03	23,92

3 Pisos

Nº	REBAP+RSA								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,069	0,028	0,097	4,87	3,72	8,60	70,77	131,35	88,43
2	0,068	0,035	0,104	8,58	5,94	14,52	125,33	169,03	140,15
3	0,050	0,023	0,073	3,97	4,05	8,02	79,97	175,80	110,33
4	0,054	0,034	0,088	6,26	5,83	12,08	115,92	171,92	137,52
5	0,047	0,015	0,062	2,90	2,22	5,12	61,92	146,31	82,54
6	0,036	0,026	0,061	4,32	3,38	7,70	121,41	131,18	125,52
7	0,051	0,017	0,069	5,89	3,97	9,86	114,58	230,84	143,72
8	0,027	0,029	0,057	4,24	4,32	8,56	155,18	147,55	151,23
9	0,028	0,016	0,044	3,21	4,03	7,24	114,87	246,52	163,43
10	0,062	0,014	0,076	5,37	3,80	9,17	86,77	264,40	120,23
11	0,056	0,028	0,084	5,54	4,33	9,87	98,99	155,47	117,75
12	0,043	0,020	0,063	3,44	2,56	6,00	79,70	127,85	94,97
13	0,033	0,010	0,042	3,38	2,42	5,80	104,04	253,82	138,03
14	0,038	0,012	0,050	3,82	3,26	7,08	100,68	281,37	142,89
15	0,046	0,020	0,066	4,55	5,69	10,24	99,09	285,11	155,44
Média	0,047	0,022	0,069	4,69	3,97	8,66	101,95	194,57	127,48
D. P.	0,013	0,008	0,018	1,48	1,16	2,47	24,03	58,67	24,73

Nº	EC2+EC8								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,069	0,028	0,097	4,82	4,75	9,57	70,03	167,24	98,41
2	0,068	0,035	0,103	8,59	6,07	14,66	125,67	174,24	142,08
3	0,050	0,023	0,073	3,98	4,09	8,06	79,70	177,34	110,55
4	0,054	0,034	0,088	4,98	7,69	12,67	92,30	226,88	144,23
5	0,047	0,015	0,062	3,15	1,92	5,07	67,19	126,82	81,75
6	0,036	0,026	0,061	4,35	3,05	7,39	122,32	118,14	120,56
7	0,051	0,017	0,069	5,27	3,75	9,02	102,71	218,07	131,64
8	0,027	0,029	0,057	3,67	3,53	7,20	134,86	120,34	127,33
9	0,028	0,016	0,044	2,77	4,11	6,88	98,73	251,30	154,88
10	0,062	0,014	0,076	5,79	3,54	9,34	93,71	246,21	122,52
11	0,056	0,028	0,084	6,37	5,15	11,52	114,19	184,92	137,74
12	0,043	0,020	0,063	3,88	3,16	7,04	89,96	157,27	111,37
13	0,033	0,010	0,042	3,12	1,99	5,11	96,05	208,61	121,59
14	0,038	0,012	0,050	3,96	3,56	7,52	104,43	307,56	151,88
15	0,046	0,020	0,066	4,60	6,63	11,24	100,42	332,36	170,79
Média	0,047	0,022	0,069	4,62	4,20	8,82	99,49	201,15	128,49
D. P.	0,013	0,008	0,018	1,49	1,62	2,73	19,27	64,18	23,01

4 Pisos

Nº	REBAP+RSA								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Vigas	Vigas	Vigas	Pórtico	Vigas	Pilares	Vigas
1	0,111	0,033	0,144	8,75	6,97	15,72	79,16	211,14	109,52
2	0,041	0,017	0,058	3,93	3,44	7,37	95,96	197,73	126,31
3	0,045	0,034	0,079	4,41	4,70	9,11	97,98	140,11	115,99
4	0,038	0,014	0,051	3,61	2,55	6,16	95,69	188,35	120,11
5	0,040	0,012	0,052	5,25	3,42	8,67	129,82	288,11	165,71
6	0,052	0,022	0,074	5,98	4,91	10,89	113,96	223,13	146,25
7	0,061	0,030	0,090	7,13	4,68	11,81	117,16	158,47	130,65
8	0,062	0,038	0,100	5,68	5,46	11,14	92,33	142,10	111,46
9	0,045	0,027	0,072	5,12	5,66	10,77	113,09	212,07	149,80
10	0,036	0,045	0,081	3,89	4,97	8,85	108,63	110,88	109,88
11	0,060	0,019	0,079	4,46	4,58	9,04	74,74	237,40	114,54
12	0,089	0,040	0,129	6,60	4,71	11,31	74,19	118,33	87,84
13	0,028	0,014	0,042	3,36	3,03	6,39	120,71	215,24	152,48
14	0,034	0,019	0,053	2,88	3,06	5,94	85,74	161,02	112,91
15	0,062	0,016	0,078	6,80	9,57	16,37	109,89	608,20	210,95
Média	0,053	0,025	0,079	5,19	4,78	9,97	100,60	214,15	130,96
D. P.	0,022	0,011	0,028	1,64	1,77	3,13	17,29	119,15	30,19

Nº	EC2+EC8								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Vigas	Vigas	Vigas	Pórtico	Vigas	Pilares	Vigas
1	0,111	0,033	0,144	7,64	8,77	16,41	69,15	265,41	114,30
2	0,041	0,017	0,058	4,56	3,60	8,15	111,37	206,78	139,83
3	0,045	0,034	0,079	3,88	3,40	7,28	86,25	101,26	92,66
4	0,038	0,014	0,051	4,34	3,00	7,34	114,95	221,82	143,12
5	0,040	0,012	0,052	4,65	3,30	7,96	115,11	278,72	152,21
6	0,052	0,022	0,074	6,79	5,52	12,32	129,57	250,76	165,41
7	0,061	0,030	0,090	6,02	5,27	11,29	98,86	178,58	124,89
8	0,062	0,038	0,100	5,94	6,06	12,00	96,56	157,58	120,02
9	0,045	0,027	0,072	5,03	4,57	9,60	111,18	171,34	133,49
10	0,036	0,045	0,081	3,33	6,17	9,50	92,97	137,79	117,89
11	0,060	0,019	0,079	4,58	4,75	9,33	76,83	245,90	118,20
12	0,089	0,040	0,129	6,71	5,06	11,77	75,46	127,12	91,43
13	0,028	0,014	0,042	3,28	3,08	6,36	117,89	218,97	151,86
14	0,034	0,019	0,053	3,03	3,32	6,35	90,29	174,74	120,77
15	0,062	0,016	0,078	5,26	5,56	10,82	85,03	353,43	139,46
Média	0,053	0,025	0,079	5,00	4,76	9,76	98,10	206,01	128,37
D. P.	0,022	0,011	0,028	1,39	1,57	2,73	17,94	66,38	21,01

5 Pisos

Nº	REBAP+RSA								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Vigas	Vigas	Vigas	Pórtico	Vigas	Pilares	Vigas
1	0,034	0,036	0,070	4,03	5,02	9,05	119,87	138,78	129,66
2	0,034	0,015	0,049	5,84	4,82	10,66	170,80	316,64	215,70
3	0,047	0,049	0,096	4,14	7,69	11,84	88,59	156,43	123,35
4	0,051	0,038	0,088	3,74	5,77	9,51	74,05	152,84	107,73
5	0,019	0,026	0,045	2,30	4,64	6,95	122,74	178,45	155,10
6	0,050	0,021	0,070	7,02	4,20	11,21	141,72	200,03	159,08
7	0,037	0,034	0,071	5,18	5,02	10,20	140,83	146,03	143,34
8	0,076	0,034	0,110	4,77	4,33	9,10	62,69	127,94	82,79
9	0,045	0,026	0,070	6,08	5,98	12,06	135,64	233,21	171,11
10	0,045	0,022	0,067	5,09	4,20	9,29	113,90	189,21	138,88
11	0,036	0,039	0,075	5,06	5,53	10,58	141,54	140,56	141,03
12	0,015	0,036	0,051	3,94	7,71	11,65	266,10	212,11	227,72
13	0,052	0,030	0,082	6,10	5,45	11,56	117,11	183,95	141,35
14	0,073	0,026	0,099	5,92	4,40	10,33	81,18	166,40	103,86
15	0,041	0,033	0,074	4,00	5,29	9,29	97,28	161,99	125,95
Média	0,044	0,031	0,075	4,88	5,34	10,22	124,93	180,31	144,44
D. P.	0,017	0,009	0,018	1,21	1,11	1,38	49,02	47,78	38,64

Nº	EC2+EC8								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,034	0,036	0,070	4,09	5,55	9,64	121,49	153,56	138,10
2	0,034	0,015	0,049	5,60	4,53	10,13	163,66	297,45	204,90
3	0,047	0,049	0,096	3,63	8,85	12,49	77,69	180,04	130,15
4	0,051	0,038	0,088	3,18	4,53	7,72	62,99	120,07	87,40
5	0,019	0,026	0,045	1,97	3,94	5,91	105,21	151,85	132,27
6	0,050	0,021	0,070	5,24	5,08	10,32	105,95	241,97	146,45
7	0,037	0,034	0,071	5,71	5,81	11,52	155,30	168,98	161,91
8	0,076	0,034	0,110	5,33	6,35	11,68	70,10	187,41	106,24
9	0,045	0,026	0,070	5,88	6,68	12,56	131,13	260,79	178,29
10	0,045	0,022	0,067	4,97	3,22	8,19	111,10	145,22	122,41
11	0,036	0,039	0,075	5,45	6,58	12,03	152,59	167,31	160,30
12	0,015	0,036	0,051	3,37	7,32	10,69	227,98	201,26	208,98
13	0,052	0,030	0,082	5,33	7,32	12,65	102,27	246,84	154,69
14	0,073	0,026	0,099	5,45	3,51	8,96	74,72	132,67	90,14
15	0,041	0,033	0,074	3,33	5,83	9,17	81,17	178,34	124,25
Média	0,043	0,031	0,075	4,57	5,67	10,24	116,22	188,92	143,10
D. P.	0,017	0,009	0,018	1,20	1,57	2,00	44,47	51,24	36,40

6 Pisos

Nº	REBAP+RSA								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,051	0,031	0,082	4,35	4,52	8,86	85,79	146,06	108,63
2	0,041	0,038	0,079	3,66	3,66	7,33	88,53	96,61	92,40
3	0,054	0,055	0,109	6,69	9,47	16,16	124,77	171,32	148,41
4	0,047	0,069	0,115	5,55	8,10	13,64	118,73	117,95	118,27
5	0,032	0,046	0,079	2,66	4,42	7,08	82,46	95,47	90,13
6	0,016	0,047	0,062	1,48	5,54	7,01	94,15	119,04	112,77
7	0,013	0,035	0,048	1,84	4,03	5,87	143,62	114,59	122,36
8	0,050	0,034	0,083	7,83	5,84	13,67	157,74	172,53	163,73
9	0,035	0,048	0,083	2,50	5,03	7,54	71,02	104,97	90,59
10	0,052	0,030	0,082	5,98	5,41	11,39	114,74	182,63	139,36
11	0,037	0,024	0,061	4,98	6,63	11,61	133,70	276,63	189,66
12	0,029	0,034	0,063	2,85	5,64	8,50	100,09	164,06	135,05
13	0,033	0,034	0,067	3,09	5,50	8,59	94,06	160,47	127,97
14	0,030	0,036	0,066	2,61	6,61	9,22	88,13	181,06	139,46
15	0,046	0,040	0,086	4,35	6,73	11,09	94,68	166,55	128,29
Média	0,038	0,040	0,078	4,03	5,81	9,84	106,15	151,33	127,14
D. P.	0,013	0,011	0,018	1,86	1,54	2,97	24,94	46,82	27,55

Nº	EC2+EC8								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,051	0,031	0,082	3,28	3,72	7,00	64,83	120,36	85,89
2	0,041	0,038	0,079	2,89	3,43	6,32	69,85	90,35	79,65
3	0,054	0,055	0,109	6,75	7,12	13,88	125,91	128,80	127,38
4	0,047	0,069	0,115	4,85	11,07	15,92	103,74	161,23	137,94
5	0,032	0,046	0,079	2,17	3,68	5,85	67,37	79,48	74,51
6	0,016	0,046	0,062	1,86	5,06	6,92	118,70	109,13	111,54
7	0,013	0,035	0,048	2,16	3,04	5,20	168,31	86,43	108,34
8	0,050	0,034	0,084	6,51	5,75	12,26	131,00	169,74	146,71
9	0,035	0,048	0,083	2,33	4,00	6,33	66,20	83,28	76,06
10	0,052	0,030	0,082	5,31	7,51	12,82	101,77	253,33	156,72
11	0,037	0,024	0,061	4,16	5,39	9,55	111,77	224,85	156,10
12	0,029	0,034	0,063	2,90	6,78	9,68	101,78	197,14	153,89
13	0,033	0,034	0,067	3,24	7,30	10,54	98,62	212,84	156,95
14	0,030	0,036	0,066	2,77	7,05	9,83	93,84	193,23	148,74
15	0,046	0,040	0,086	4,93	9,20	14,13	107,12	227,76	163,53
Média	0,038	0,040	0,078	3,74	6,01	9,75	102,05	155,86	125,60
D. P.	0,013	0,011	0,018	1,59	2,30	3,44	28,27	59,99	33,28

7 Pisos

Nº	REBAP+RSA								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,054	0,022	0,076	6,97	7,68	14,65	129,21	354,10	193,69
2	0,060	0,025	0,085	5,17	4,26	9,43	86,23	173,78	111,64
3	0,048	0,036	0,084	6,30	5,63	11,93	130,01	156,51	141,31
4	0,064	0,034	0,098	7,63	6,86	14,49	120,04	200,69	148,23
5	0,065	0,039	0,104	7,40	4,91	12,31	113,80	124,44	117,82
6	0,050	0,021	0,071	4,09	2,49	6,58	80,96	121,18	92,61
7	0,070	0,036	0,106	5,63	6,95	12,57	79,93	194,91	118,59
8	0,054	0,049	0,104	4,35	6,70	11,05	80,46	135,51	106,73
9	0,037	0,036	0,073	3,21	6,39	9,60	87,04	179,37	132,44
10	0,004	0,042	0,047	0,39	5,36	5,75	90,30	126,64	123,26
11	0,035	0,018	0,053	3,56	2,69	6,25	100,60	152,29	117,83
12	0,041	0,016	0,057	7,35	6,80	14,16	179,16	421,59	247,58
13	0,051	0,041	0,092	5,11	7,28	12,39	99,91	179,08	134,95
14	0,074	0,064	0,138	4,91	5,94	10,86	66,54	93,08	78,85
15	0,014	0,050	0,064	1,38	7,20	8,59	101,33	143,22	134,27
Média	0,048	0,035	0,083	4,90	5,81	10,71	103,03	183,76	133,32
D. P.	0,020	0,013	0,024	2,15	1,61	2,94	28,28	88,94	41,05

Nº	EC2+EC8								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,054	0,022	0,076	6,49	8,41	14,91	120,30	387,61	196,98
2	0,060	0,025	0,085	4,89	3,73	8,62	81,57	152,03	102,02
3	0,048	0,036	0,084	6,10	4,23	10,33	125,88	117,52	122,32
4	0,064	0,034	0,098	6,70	5,37	12,07	105,31	157,29	123,48
5	0,065	0,039	0,104	6,81	4,40	11,21	104,56	111,76	107,28
6	0,050	0,021	0,071	4,13	2,89	7,02	81,85	140,44	98,83
7	0,070	0,036	0,106	5,95	6,47	12,42	84,53	181,52	117,16
8	0,054	0,049	0,104	3,62	5,16	8,77	66,82	104,33	84,72
9	0,037	0,036	0,072	2,69	5,19	7,88	73,16	145,51	108,76
10	0,004	0,042	0,047	0,35	6,28	6,63	80,80	148,29	142,01
11	0,035	0,018	0,053	3,71	2,39	6,11	104,97	135,38	115,11
12	0,041	0,016	0,057	5,27	6,91	12,18	128,24	428,04	212,79
13	0,051	0,041	0,092	5,40	8,03	13,43	105,52	197,57	146,26
14	0,074	0,064	0,138	4,47	5,40	9,87	60,51	84,55	71,66
15	0,014	0,050	0,064	1,16	7,75	8,91	84,67	154,17	139,32
Média	0,048	0,035	0,083	4,52	5,51	10,02	93,91	176,40	125,91
D. P.	0,020	0,013	0,024	1,95	1,82	2,63	21,25	98,51	38,03

8 Pisos

Nº	REBAP+RSA								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,074	0,067	0,141	6,63	10,29	16,92	89,37	153,42	119,79
2	0,029	0,029	0,059	2,00	5,57	7,58	68,79	189,23	129,34
3	0,025	0,023	0,048	1,91	4,01	5,92	77,18	171,24	122,86
4	0,056	0,028	0,084	4,38	3,19	7,57	78,59	113,35	90,25
5	0,054	0,036	0,090	4,84	7,98	12,82	89,28	223,89	142,68
6	0,044	0,051	0,095	9,95	7,75	17,71	227,67	151,64	186,68
7	0,044	0,042	0,085	5,40	6,26	11,66	124,00	149,84	136,66
8	0,057	0,038	0,095	4,54	6,45	11,00	79,99	169,38	115,89
9	0,055	0,016	0,072	5,84	3,24	9,08	105,28	197,49	126,33
10	0,053	0,021	0,074	9,17	8,45	17,63	172,18	399,41	236,79
11	0,057	0,030	0,087	8,67	6,39	15,06	152,53	211,43	172,97
12	0,039	0,049	0,088	4,66	10,57	15,23	118,32	215,38	172,17
13	0,068	0,039	0,107	5,46	4,58	10,04	80,43	116,26	93,59
14	0,047	0,041	0,088	4,43	8,94	13,37	93,38	219,22	151,53
15	0,040	0,043	0,083	4,51	4,68	9,19	113,36	108,04	110,59
Média	0,049	0,037	0,086	5,49	6,56	12,05	111,36	185,95	140,54
D. P.	0,013	0,013	0,021	2,32	2,39	3,86	43,48	70,71	38,63

Nº	EC2+EC8								
	Volume de Betão (m ³ /m ²)			Aço (kg/m ²)			Aço (kg/m ³)		
	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico	Vigas	Pilares	Pórtico
1	0,074	0,067	0,141	6,69	7,28	13,97	90,15	108,49	98,86
2	0,029	0,029	0,059	2,06	4,90	6,96	70,81	166,44	118,89
3	0,025	0,023	0,048	1,95	3,30	5,25	78,55	141,08	108,92
4	0,056	0,028	0,084	4,53	3,25	7,78	81,25	115,56	92,76
5	0,054	0,036	0,090	3,95	6,10	10,05	72,79	171,28	111,86
6	0,044	0,051	0,095	8,73	7,23	15,96	199,72	141,31	168,24
7	0,044	0,042	0,085	5,68	6,97	12,65	130,61	166,60	148,25
8	0,057	0,038	0,095	4,16	5,52	9,68	73,32	144,90	102,07
9	0,055	0,016	0,072	6,10	3,85	9,95	109,98	234,55	138,42
10	0,053	0,021	0,074	7,15	7,74	14,89	134,16	365,62	199,97
11	0,057	0,030	0,087	7,74	7,14	14,88	136,20	236,22	170,90
12	0,039	0,049	0,088	3,50	11,34	14,84	88,93	231,05	167,77
13	0,068	0,039	0,107	5,35	3,69	9,04	78,77	93,70	84,25
14	0,047	0,041	0,088	4,10	8,43	12,53	86,40	206,64	141,96
15	0,040	0,043	0,083	4,48	3,50	7,98	112,70	80,81	96,07
Média	0,049	0,037	0,086	5,08	6,02	11,09	102,96	173,62	129,95
D. P.	0,013	0,013	0,021	1,96	2,32	3,38	35,31	72,96	35,13

Anexo E

Custos médios da amostra geral de edifícios

1 Piso

N.º	Cofragem			Betão		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	1094,5	891,3	8,18	1451,1	397,1	7,61
2	4453,9	6108,6	13,85	6382,6	2941,3	12,22
3	981,6	760,7	10,56	1301,5	338,9	9,95
4	2766,0	1393,0	6,91	3514,0	594,6	6,83
5	1408,1	3278,3	16,12	2017,8	1578,5	12,37
6	2240,7	3525,6	14,50	3404,5	1799,9	13,08
7	4026,6	4538,3	13,46	5770,3	2185,2	12,50
8	4691,5	4911,6	11,20	6723,0	2365,0	10,60
9	1387,7	1075,7	4,98	1839,9	479,2	4,69
10	912,6	1199,3	9,61	1210,0	534,3	7,94
11	816,9	1001,0	10,07	1037,9	427,3	8,12
12	1153,3	2032,3	11,35	1465,2	867,5	8,31
13	798,9	1519,0	11,28	1009,2	644,7	8,05
14	827,1	2212,0	14,13	1038,0	932,7	9,16
15	3825,1	4778,6	9,48	5252,6	2204,8	8,22
Média	2092,3	2615,0	11,05	2894,5	1219,4	9,31
D. P.	1461,9	1767,0	3,03	2123,5	873,0	2,42

N.º	REBAP+RSA					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	919,2	766,7	6,94	3464,8	2055,1	22,73
2	2909,4	2408,3	6,97	13745,9	11458,3	33,04
3	738,0	496,1	7,48	3021,0	1595,6	27,99
4	2711,7	2198,4	8,16	8991,7	4186,0	21,90
5	1241,5	1553,1	9,61	4667,4	6409,9	38,11
6	3392,3	2231,2	14,14	9037,5	7556,8	41,72
7	4262,4	2257,5	10,24	14059,3	8981,0	36,20
8	3962,4	2046,0	7,01	15376,9	9322,5	28,81
9	1319,4	1020,9	4,73	4547,0	2575,8	14,41
10	1206,2	619,1	8,31	3328,8	2352,7	25,85
11	743,7	478,1	6,77	2598,5	1906,3	24,96
12	1000,4	880,7	6,70	3618,8	3780,5	26,37
13	645,3	660,9	6,36	2453,4	2824,6	25,68
14	606,8	856,1	6,80	2471,9	4000,7	30,08
15	2929,0	2445,2	5,92	12006,7	9428,7	23,62
Média	1905,9	1394,6	7,74	6892,6	5229,0	28,10
D. P.	1302,6	781,3	2,24	4809,0	3318,7	6,96

Nº	EC2+EC8					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	819,2	693,7	6,23	3364,8	1982,1	22,02
2	3002,0	2519,9	7,24	13838,5	11569,8	33,31
3	684,7	487,1	7,11	2967,7	1586,6	27,62
4	2309,1	2319,8	7,69	8589,1	4307,4	21,43
5	1235,7	1184,9	8,33	4661,6	6041,7	36,82
6	3959,0	1963,9	14,89	9604,2	7289,5	42,47
7	3922,9	1625,2	8,72	13719,8	8348,7	34,67
8	2992,2	2240,2	6,10	14406,6	9516,8	27,90
9	1232,5	843,0	4,20	4460,1	2397,8	13,87
10	1362,0	803,6	9,85	3484,6	2537,2	27,40
11	792,1	418,2	6,71	2646,9	1846,5	24,90
12	895,4	930,7	6,51	3513,9	3830,6	26,17
13	666,7	489,5	5,63	2474,7	2653,2	24,95
14	694,5	650,3	6,25	2559,6	3794,9	29,54
15	3042,2	2266,5	5,85	12119,9	9249,9	23,55
Média	1840,7	1295,8	7,42	6827,5	5130,2	27,77
D. P.	1230,3	773,8	2,48	4682,0	3287,0	6,98

2 Pisos

N.º	Cofragem			Betão		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	1811,8	2002,0	8,76	2402,3	891,9	7,56
2	1107,8	828,3	8,44	1407,4	353,6	7,68
3	1878,5	1827,0	7,57	2691,9	879,7	7,30
4	1230,9	842,3	10,03	1870,2	430,0	11,12
5	11805,5	16057,8	10,70	15652,8	7153,8	8,76
6	1859,6	1815,3	7,10	2362,6	774,9	6,06
7	5555,4	6955,6	10,88	7961,1	3349,2	9,83
8	1539,0	1220,3	6,62	2205,4	587,6	6,70
9	1102,3	1089,7	9,25	1400,4	465,1	7,87
10	1364,2	1603,0	6,53	1954,9	771,8	6,00
11	1201,1	1813,0	6,47	1649,3	836,5	5,33
12	1203,4	2387,0	4,91	1724,6	1149,3	3,93
13	800,5	3374,0	4,26	1314,5	1861,7	3,24
14	8878,0	10329,6	11,43	11771,3	4601,9	9,75
15	1062,3	1075,7	9,08	1522,3	517,9	8,66
Média	2826,7	3548,0	8,13	3859,4	1641,7	7,32
D. P.	3298,4	4333,5	2,17	4375,2	1937,2	2,18

Nº	REBAP+RSA					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	1743,3	1502,2	7,45	5957,4	4396,1	23,77
2	1030,7	931,5	8,56	3545,9	2113,4	24,68
3	1705,6	1370,2	6,28	6276,0	4076,9	21,15
4	1216,9	691,3	9,23	4318,0	1963,6	30,38
5	14271,3	14924,8	11,21	41729,5	38136,5	30,67
6	2561,7	1311,2	7,48	6783,9	3901,4	20,64
7	6081,9	4277,1	9,01	19598,5	14581,9	29,72
8	1650,7	708,5	5,66	5395,1	2516,4	18,98
9	1329,2	1190,6	10,63	3831,9	2745,4	27,76
10	1797,4	930,7	6,00	5116,5	3305,5	18,53
11	1070,1	797,0	4,01	3920,5	3446,5	15,81
12	1944,2	1281,7	4,41	4872,2	4818,0	13,25
13	662,3	1299,0	2,00	2777,4	6534,7	9,50
14	6135,2	6300,1	7,40	26784,6	21231,5	28,58
15	1148,8	606,0	7,45	3733,5	2199,6	25,19
Média	2956,6	2541,5	7,12	9642,7	7731,2	22,57
D. P.	3552,0	3762,3	2,49	11119,4	9957,6	6,50

Nº	EC2+EC8					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	1649,8	1407,1	7,02	5863,9	4301,0	23,34
2	1007,0	995,5	8,73	3522,1	2177,4	24,85
3	1626,9	1118,5	5,61	6197,3	3825,2	20,47
4	1365,3	711,8	10,04	4466,4	1984,1	31,19
5	12626,4	12773,1	9,75	40084,6	35984,8	29,21
6	2783,9	1770,4	8,80	7006,1	4360,6	21,96
7	5205,4	5749,0	9,52	18721,9	16053,8	30,24
8	1767,1	826,6	6,22	5511,5	2634,5	19,54
9	1433,4	1158,7	10,94	3936,1	2713,5	28,06
10	1661,3	802,0	5,42	4980,4	3176,8	17,94
11	1091,4	861,8	4,19	3941,8	3511,3	15,99
12	1410,4	910,2	3,17	4338,4	4446,5	12,01
13	621,7	1240,0	1,90	2736,7	6475,7	9,40
14	6168,9	6651,0	7,63	26818,2	21582,4	28,81
15	1351,4	604,3	8,30	3936,0	2197,9	26,05
Média	2784,7	2505,3	7,15	9470,8	7695,0	22,60
D. P.	3134,9	3383,7	2,68	10734,8	9615,1	6,70

3 Pisos

N.º	Cofragem			Betão		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	2971,4	3640,0	12,02	3572,8	1470,6	9,17
2	1662,1	2538,6	13,57	2203,7	1131,0	10,77
3	1103,9	1523,7	9,27	1515,8	703,0	7,83
4	3004,3	5616,3	12,14	3983,4	2502,1	9,13
5	2460,2	2368,3	7,22	3125,5	1011,0	6,18
6	1508,4	3255,0	8,80	2071,3	1501,8	6,60
7	1505,3	1498,0	8,04	2287,2	764,8	8,17
8	1030,2	3292,3	8,98	1240,6	1332,2	5,34
9	617,0	1073,3	6,01	818,1	478,2	4,61
10	1735,8	1199,3	8,21	2414,2	560,5	8,32
11	2018,0	2986,6	10,89	2675,7	1330,6	8,72
12	2116,8	2923,6	8,05	3182,0	1476,7	7,44
13	2481,4	2167,6	4,77	3407,3	1000,1	4,53
14	4390,4	3983,0	5,68	6670,9	2033,4	5,90
15	1114,8	1442,0	8,26	1550,6	673,9	7,18
Média	1981,3	2633,8	8,79	2714,6	1198,0	7,33
D. P.	972,1	1238,9	2,49	1423,7	559,9	1,80

Nº	REBAP+RSA					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	2199,2	1680,2	7,05	8743,4	6790,7	28,23
2	2178,7	1508,0	11,91	6044,6	5177,6	36,25
3	923,3	941,4	6,58	3543,0	3168,0	23,68
4	3686,9	3434,5	10,03	10674,5	11552,9	31,30
5	1593,3	1217,7	4,20	7179,0	4597,0	17,60
6	1915,5	1500,6	6,31	5495,2	6257,4	21,72
7	1804,0	1215,2	8,08	5596,4	3478,0	24,29
8	1672,0	1707,2	7,02	3942,8	6331,8	21,34
9	741,3	929,9	5,94	2176,4	2481,4	16,55
10	1575,2	1114,4	7,52	5725,2	2874,2	24,04
11	2089,4	1631,8	8,10	6783,0	5949,0	27,70
12	1764,6	1313,6	4,92	7063,4	5714,0	20,42
13	2700,3	1933,6	4,76	8588,9	5101,3	14,06
14	4623,2	3938,5	5,80	15684,4	9954,8	17,38
15	1155,4	1444,8	8,40	3820,8	3560,7	23,84
Média	2041,5	1700,8	7,11	6737,4	5532,6	23,23
D. P.	1010,0	859,8	2,04	3327,1	2535,7	5,92

Nº	EC2+EC8					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	2176,3	2143,5	7,85	8720,4	7254,0	29,03
2	2179,6	1541,6	12,02	6045,4	5211,2	36,36
3	924,1	949,6	6,61	3543,8	3176,2	23,71
4	2934,9	4532,6	10,52	9922,5	12651,0	31,79
5	1729,4	1054,5	4,16	7315,1	4433,8	17,56
6	1927,8	1351,4	6,06	5507,5	6108,1	21,47
7	1615,4	1148,0	7,40	5407,8	3410,8	23,61
8	1449,8	1392,4	5,90	3720,6	6016,9	20,23
9	639,6	947,9	5,64	2074,7	2499,4	16,25
10	1699,0	1039,8	7,66	5849,0	2799,6	24,18
11	2401,8	1940,9	9,45	7095,5	6258,1	29,05
12	1990,1	1623,6	5,77	7288,9	6023,9	21,27
13	2492,8	1589,2	4,19	8381,5	4756,9	13,49
14	4795,4	4305,0	6,17	15856,6	10321,4	17,74
15	1168,5	1684,3	9,21	3833,9	3800,1	24,66
Média	2008,3	1816,3	7,24	6704,2	5648,1	23,36
D. P.	981,0	1115,1	2,25	3324,3	2794,6	6,20

4 Pisos

N.º	Cofragem			Betão		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	8034,4	7144,6	16,37	10207,3	3049,8	14,30
2	23806,9	30106,7	7,27	31565,5	13412,7	6,06
3	6994,1	15539,8	11,36	8776,9	6552,4	7,73
4	1636,2	1743,0	6,11	2459,6	880,4	6,04
5	8094,0	7062,9	5,94	11599,0	3400,8	5,87
6	3324,9	4155,6	9,25	4624,5	1942,0	8,12
7	17814,8	25706,1	11,66	25529,3	12377,6	10,16
8	9109,3	16930,5	13,79	12508,6	7811,6	10,76
9	1234,0	2165,3	9,77	1694,5	999,1	7,74
10	2498,6	9309,9	13,26	3312,9	4147,6	8,38
11	9590,7	9246,9	9,18	14416,8	4670,5	9,30
12	26935,9	35874,6	16,26	40490,4	18119,7	15,17
13	4614,6	6950,9	5,46	6418,2	3248,4	4,57
14	3116,4	5238,3	7,06	4684,6	2645,8	6,20
15	10370,0	7851,6	8,52	13749,5	3497,9	8,07
Média	9145,0	12335,1	10,08	12802,5	5783,8	8,56
D. P.	7879,5	10472,8	3,60	11347,0	5062,6	3,02

N.º	REBAP+RSA					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	6651,8	5301,3	12,89	24893,6	15495,7	43,56
2	23893,2	20920,7	6,04	79265,6	64440,0	19,37
3	7167,6	7651,4	7,47	22938,6	29743,7	26,55
4	1637,5	1153,7	5,05	5733,3	3777,1	17,20
5	10990,5	7151,2	7,11	30683,5	17615,0	18,92
6	3963,1	3258,7	8,93	11912,5	9356,4	26,30
7	21830,0	14316,4	9,68	65174,2	52400,1	31,50
8	8797,0	8455,0	9,14	30414,9	33197,1	33,69
9	1459,6	1613,8	8,83	4388,1	4778,1	26,35
10	2873,5	3671,9	7,35	8685,0	17129,4	28,98
11	7588,7	7808,6	7,50	31596,2	21726,0	25,98
12	21157,5	15101,0	9,38	88583,8	69095,4	40,81
13	5826,1	5257,8	5,24	16859,0	15457,1	15,27
14	2828,6	3000,5	4,93	10629,7	10884,5	18,19
15	11918,7	16782,1	13,43	36038,1	28131,6	30,02
Média	9238,9	8096,3	8,20	31186,4	26215,2	26,85
D. P.	7458,8	6000,0	2,56	26410,3	20598,1	8,37

Nº	EC2+EC8					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	5810,5	6664,1	13,46	24052,3	16858,6	44,13
2	27732,4	21878,4	6,69	83104,8	65397,8	20,01
3	6309,1	5530,1	5,97	22080,1	27622,4	25,05
4	1967,2	1358,7	6,02	6063,0	3982,1	18,17
5	9744,9	6918,3	6,53	29437,9	17382,1	18,34
6	4505,9	3662,1	10,10	12455,3	9759,8	27,47
7	18421,3	16132,7	9,26	61765,4	54216,4	31,07
8	9199,6	9375,9	9,84	30817,5	34117,9	34,39
9	1435,0	1303,8	7,87	4363,5	4468,2	25,39
10	2459,3	4563,3	7,88	8270,8	18020,9	29,52
11	7801,2	8088,4	7,74	31808,7	22005,7	26,22
12	21519,4	16222,4	9,77	88945,7	70216,7	41,19
13	5690,0	5348,9	5,22	16722,8	15548,2	15,25
14	2978,9	3256,1	5,27	10779,9	11140,1	18,53
15	9222,5	9752,3	8,88	33342,0	21101,8	25,47
Média	8986,5	8003,7	8,03	30934,0	26122,6	26,68
D. P.	7712,6	5913,0	2,24	26672,7	21002,4	8,42

5 Pisos

N.º	Cofragem			Betão		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	3965,5	12676,9	11,07	5257,8	5647,6	7,25
2	11171,2	14790,9	6,23	14811,8	6589,4	5,13
3	3393,2	10614,2	15,14	4499,0	4728,7	9,98
4	5760,8	12800,5	12,77	6937,7	5179,7	8,34
5	1475,5	6085,3	7,54	1956,3	2711,0	4,66
6	5309,2	6698,9	8,78	7384,4	3130,6	7,69
7	5461,3	15192,2	10,91	7241,2	6768,2	7,40
8	4517,4	5987,3	13,87	5989,6	2667,4	11,43
9	8962,7	15238,8	9,49	11883,6	6789,0	7,33
10	5578,9	8241,3	8,68	7994,8	3968,2	7,51
11	5882,4	19261,5	11,98	8181,5	9001,5	8,18
12	2132,5	15602,8	9,64	2827,4	6951,1	5,32
13	6583,2	11148,6	11,00	9156,3	5210,1	8,91
14	17402,4	18785,5	11,90	25024,6	9076,6	11,21
15	5814,1	13764,2	10,84	8834,1	7027,0	8,78
Média	6227,4	12459,3	10,66	8532,0	5696,4	7,94
D. P.	3916,2	4286,9	2,36	5595,4	2034,2	2,00

Nº	REBAP+RSA					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	4971,7	6182,8	7,42	14194,9	24507,3	25,75
2	19956,3	16459,0	8,74	45939,4	37839,3	20,10
3	3143,9	5835,1	9,71	11036,0	21178,0	34,83
4	4461,6	6875,7	7,80	17160,1	24855,9	28,91
5	1917,3	3862,8	5,77	5349,1	12659,1	17,96
6	7869,5	4709,3	9,19	20563,1	14538,8	25,66
7	8142,3	7891,6	8,47	20844,8	29852,0	26,77
8	2998,0	2724,9	7,56	13505,0	11379,5	32,86
9	12714,9	12489,4	9,89	33561,2	34517,2	26,71
10	6727,2	5546,9	7,71	20300,9	17756,3	23,90
11	8708,4	9514,5	8,68	22772,2	37777,4	28,84
12	5935,2	11630,9	9,55	10895,1	34184,9	24,51
13	8063,9	7207,0	9,48	23803,4	23565,6	29,39
14	14955,8	11119,5	8,57	57382,8	38981,6	31,68
15	5987,6	7931,5	7,71	20635,9	28722,7	27,34
Média	7770,2	7998,7	8,42	22529,6	26154,4	27,01
D. P.	4859,0	3670,4	1,11	13741,9	9383,1	4,46

Nº	EC2+EC8					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	5038,9	6843,7	7,90	14262,2	25168,2	26,23
2	19124,0	15485,7	8,30	45107,1	36865,9	19,67
3	2756,0	6715,8	10,24	10648,1	22058,7	35,36
4	3791,7	5401,3	6,33	16490,2	23381,5	27,44
5	1642,6	3276,8	4,91	5074,4	12073,1	17,10
6	5883,5	5696,5	8,46	18577,1	15526,1	24,93
7	8978,9	9131,7	9,56	21681,4	31092,0	27,86
8	3352,4	3991,5	9,70	13859,4	12646,1	35,00
9	12287,7	13968,7	10,30	33134,0	35996,5	27,12
10	6563,6	4257,1	6,79	20137,4	16466,5	22,99
11	9388,2	11322,6	9,86	23452,0	39585,5	30,02
12	5084,8	11035,6	8,76	10044,7	33589,5	23,72
13	7047,1	9675,2	10,38	22786,6	26033,8	30,29
14	13765,6	8865,2	7,44	56192,6	36727,3	30,54
15	4994,9	8740,7	7,61	19643,2	29532,0	27,23
Média	7313,3	8293,9	8,44	22072,7	26449,5	27,03
D. P.	4722,0	3619,7	1,63	13536,4	9283,5	5,01

6 Pisos

N.º	Cofragem			Betão		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	11660,4	21177,1	11,19	14042,5	8569,2	7,70
2	16594,9	45275,5	12,09	23781,1	21800,4	8,91
3	6421,0	19711,8	17,10	8513,5	8781,7	11,32
4	6116,0	26749,1	19,68	8109,1	11916,8	11,99
5	14609,8	62425,4	13,33	20936,4	30058,1	8,82
6	2665,6	23538,4	12,08	3833,1	11373,1	7,01
7	9081,1	73996,3	9,21	13650,8	37374,4	5,66
8	9531,1	19322,1	11,78	14327,3	9759,3	9,84
9	4668,7	18904,5	13,95	7018,1	9548,4	9,81
10	6583,2	11148,6	11,00	9156,3	5210,1	8,91
11	4962,7	9503,6	8,51	6902,4	4441,3	6,68
12	6388,8	22920,1	10,26	8885,9	10711,2	6,86
13	19443,2	60376,7	10,58	27042,5	28215,8	7,32
14	6628,7	24341,1	10,84	9219,5	11375,3	7,21
15	7349,2	19221,8	13,04	10221,6	8982,9	9,42
Média	8847,0	30574,1	12,31	12376,0	14541,2	8,50
D. P.	4753,9	19973,5	2,91	6700,7	9928,5	1,79

Nº	REBAP+RSA					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	10463,2	10869,9	7,27	36166,1	40616,2	26,15
2	15366,8	15371,7	6,01	55742,9	82447,7	27,00
3	8379,6	11867,9	13,25	23314,0	40361,4	41,68
4	7594,8	11088,0	11,19	21820,0	49753,9	42,86
5	12753,8	21200,7	5,87	48300,0	113684,2	28,03
6	2624,8	9847,4	5,75	9123,5	44758,9	24,85
7	13641,5	29798,8	4,82	36373,4	141169,5	19,69
8	15725,1	11715,3	11,21	39583,5	40796,8	32,83
9	3510,1	7059,2	6,26	15196,9	35512,0	30,02
10	7900,7	7155,3	9,34	23640,2	23513,9	29,26
11	7024,3	9351,6	9,64	18889,4	23296,5	24,83
12	6769,5	13376,3	7,05	22044,2	47007,6	24,17
13	19362,2	34463,3	7,13	65848,0	123055,8	25,03
14	6184,3	15677,0	7,65	22032,6	51393,4	25,69
15	7366,3	11387,6	9,20	24937,1	39592,3	31,66
Média	9644,5	14682,0	8,11	30867,5	59797,3	28,92
D. P.	4769,8	7959,9	2,43	15867,2	37181,6	6,32

Nº	EC2+EC8					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	7900,7	8961,8	5,74	33603,6	38708,1	24,63
2	12125,3	14375,4	5,18	52501,4	81451,4	26,18
3	8459,1	8924,9	11,38	23393,6	37418,4	39,80
4	6638,7	15156,1	13,05	20863,8	53822,0	44,72
5	10424,8	17653,3	4,86	45971,1	110136,8	27,01
6	3300,5	9000,3	5,67	9799,2	43911,8	24,77
7	15985,9	22476,2	4,26	38717,8	133846,9	19,13
8	13061,8	11553,8	10,05	36920,1	40635,3	31,68
9	3271,0	5610,8	5,26	14957,8	34063,6	29,02
10	7012,6	9929,4	10,51	22752,2	26288,0	30,43
11	5864,0	7607,0	7,93	17729,1	21551,8	23,12
12	6888,2	16077,9	8,04	22162,9	49709,3	25,16
13	20295,2	45703,1	8,75	66780,9	134295,7	26,65
14	6582,7	16727,8	8,16	22431,0	52444,2	26,20
15	8336,5	15567,5	11,73	25907,4	43772,2	34,19
Média	9076,5	15021,7	8,04	30299,5	60137,0	28,84
D. P.	4640,7	9637,2	2,83	15468,3	37125,1	6,59

7 Pisos

N.º	Cofragem			Betão		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	11698,8	13995,2	9,29	15511,4	6234,9	7,86
2	16985,4	20673,1	10,43	20423,4	8352,2	7,97
3	10798,8	23886,1	12,19	15475,1	11501,3	9,48
4	15597,7	24950,1	12,96	22352,0	12013,6	10,98
5	12360,5	22290,1	14,30	16973,1	10284,4	11,25
6	19258,2	23368,1	8,76	25534,3	10410,6	7,39
7	13464,4	20302,1	13,84	19295,0	9775,6	11,91
8	29239,3	79465,5	15,78	41900,9	38263,0	11,63
9	7294,3	21002,1	11,21	9153,7	8855,6	7,13
10	759,7	22063,8	10,22	1007,3	9829,5	4,85
11	8520,5	12681,5	6,90	11297,3	5649,7	5,51
12	8599,7	10063,6	6,98	10925,5	4295,9	5,70
13	9016,0	21305,5	13,50	12539,9	9956,7	10,01
14	34041,3	87632,1	20,69	48951,1	42341,2	15,52
15	4598,2	50348,2	12,80	6395,3	23529,2	6,97
Média	13482,2	30268,5	11,99	18515,7	14086,2	8,95
D. P.	8783,9	23454,7	3,56	12673,3	11506,6	2,94

Nº	REBAP+RSA					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	15809,6	17416,0	12,02	43019,9	37646,1	29,17
2	15319,2	12625,5	7,74	52728,0	41650,9	26,13
3	14683,7	13138,0	9,78	40957,6	48525,4	31,46
4	19583,2	17597,2	11,88	57533,0	54560,9	35,82
5	14712,4	9748,2	10,09	44046,1	42322,7	35,64
6	16307,3	9951,5	5,40	61099,8	43730,2	21,55
7	11256,1	13906,4	10,31	44015,5	43984,1	36,06
8	24604,9	37843,0	9,06	95745,1	155571,6	36,47
9	6640,4	13238,9	7,87	23088,4	43096,7	26,21
10	717,5	9819,5	4,72	2484,5	41712,8	19,79
11	8965,1	6787,1	5,13	28782,9	25118,4	17,54
12	16114,6	14910,1	11,61	35639,8	29269,5	24,29
13	9536,7	13572,2	10,29	31092,6	44834,3	33,80
14	23691,4	28665,6	8,90	106683,8	158638,9	45,11
15	4932,7	25650,3	7,13	15926,2	99527,7	26,90
Média	13525,0	16324,6	8,79	45522,9	60679,3	29,73
D. P.	6630,9	8328,3	2,41	27452,5	42478,3	7,52

Nº	EC2+EC8					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	14722,3	19079,8	12,22	41932,5	39309,9	29,38
2	14493,5	11048,7	7,07	51902,2	40074,0	25,46
3	14218,0	9867,9	8,47	40491,9	45255,2	30,14
4	17181,5	13789,9	9,90	55131,2	50753,6	33,83
5	13524,3	8751,9	9,19	42857,9	41326,4	34,74
6	16484,5	11539,0	5,76	61276,9	45317,7	21,91
7	11899,0	12952,7	10,18	44658,4	43030,4	35,93
8	20436,0	29133,8	7,19	91576,3	146862,4	34,61
9	5576,0	10743,6	6,46	22024,1	40601,4	24,80
10	642,1	11498,0	5,44	2409,0	43391,3	20,51
11	9352,9	6034,4	5,01	29170,7	24365,6	17,42
12	11544,0	15134,7	9,98	31069,1	29494,2	22,67
13	10067,1	14971,5	11,14	31623,0	46233,7	34,65
14	21546,3	26038,3	8,09	104538,7	156011,6	44,30
15	4121,8	27611,6	7,39	15115,3	101489,0	27,17
Média	12387,3	15213,1	8,23	44385,1	59567,8	29,17
D. P.	5801,3	7101,5	2,17	26748,5	40974,0	7,24

8 Pisos

N.º	Cofragem			Betão		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	35214,1	94807,1	21,47	46690,2	42237,0	14,69
2	6111,3	18388,8	9,16	8757,7	8854,3	6,58
3	12787,0	35930,6	7,41	18324,3	17300,8	5,42
4	27146,0	40783,9	10,94	38901,2	19637,7	9,42
5	16663,9	32608,0	12,56	23880,0	15700,9	10,09
6	9069,3	31567,4	15,36	12453,7	14564,8	10,21
7	20238,2	57875,4	13,17	26833,7	25783,8	8,87
8	16496,9	32958,0	13,34	23640,7	15869,4	10,66
9	18035,1	15878,2	8,17	25084,1	7420,3	7,83
10	13030,9	15406,8	9,12	17277,5	6863,8	7,74
11	7797,7	12329,2	11,51	10338,9	5492,7	9,05
12	11689,4	43348,2	14,54	16258,2	20257,9	9,65
13	17516,1	30272,4	14,52	25101,2	14576,3	12,06
14	13438,5	34355,7	13,24	17818,1	15305,6	9,17
15	9984,2	32374,7	13,23	15008,5	16352,0	9,79
Média	15681,3	35259,0	12,52	21757,9	16414,5	9,42
D. P.	7609,0	20343,4	3,48	10284,2	9015,5	2,19

N.º	REBAP+RSA					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	32914,8	51115,5	13,88	114819,1	188159,5	50,03
2	4450,5	12377,8	6,29	19319,4	39620,9	22,03
3	10448,0	21887,1	4,92	41559,4	75118,5	17,74
4	22314,7	16245,8	6,21	88361,8	76667,4	26,57
5	15561,1	25657,0	10,51	56105,1	73965,9	33,17
6	21596,3	16822,3	14,52	43119,4	62954,5	40,09
7	26248,2	30476,1	9,56	73320,0	114135,3	31,60
8	13801,4	19618,5	9,02	53939,0	68445,9	33,02
9	20101,8	11154,4	7,53	63221,0	34452,9	23,54
10	23466,8	21625,9	14,46	53775,2	43896,5	31,31
11	12440,2	9161,0	12,35	30576,8	26983,0	32,90
12	14642,9	33210,8	12,64	42590,5	96816,9	36,83
13	14914,3	12518,9	8,34	57531,6	57367,5	34,92
14	13124,9	26468,0	10,97	44381,5	76129,2	33,38
15	11838,3	12291,8	7,53	36831,0	61018,4	30,55
Média	17190,9	21375,4	9,91	54630,1	73048,8	31,85
D. P.	7192,0	11011,9	3,15	23741,2	39301,0	7,72

Nº	EC2+EC8					
	Aço			Total		
	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)	Vigas (€)	Pilares (€)	Total (€/m ²)
1	33201,8	36147,2	11,45	117393,5	175260,4	48,33
2	4581,6	10887,1	5,78	19450,6	38130,2	21,52
3	10633,1	18031,8	4,36	41744,5	71263,2	17,19
4	23069,9	16563,2	6,38	89117,1	76984,8	26,74
5	12687,0	19628,3	8,24	53231,0	67937,3	30,90
6	18945,3	15676,8	13,09	40468,3	61809,0	38,66
7	27647,1	33884,9	10,37	74718,9	117544,0	32,41
8	12650,1	16782,9	7,94	52787,8	65610,4	31,94
9	20999,0	13247,6	8,25	64118,3	36546,1	24,26
10	18284,4	19796,4	12,21	48592,8	42067,1	29,06
11	11107,7	10235,2	12,20	29244,3	28057,2	32,76
12	11005,8	35626,9	12,32	38953,5	99233,1	36,51
13	14607,2	10089,5	7,51	57224,5	54938,1	34,09
14	12144,2	24949,3	10,27	43400,8	74610,6	32,68
15	11768,6	9193,8	6,55	36761,3	57920,5	29,56
Média	16222,2	19382,7	9,13	53813,8	71194,1	31,11
D. P.	7486,4	9259,7	2,76	24785,5	37208,6	7,36

Anexo F

**Custos médios de aço em vigas e pilares obtidos na análise
paramétrica**

Neste anexo expõe-se os resultados dos custos de aço em vigas e pilares obtidos para a determinação do custo médio total de betão armado apresentado no Capítulo 6, aquando da variação dos parâmetros sujeitos à análise paramétrica, nomeadamente, a localização dos edifícios, o tipo de aço, a classe de resistência do betão, o recobrimento e a classe de ductilidade.

Localização do Edifício:

Tabela F.1: Custo de aço em vigas e pilares para os distritos em análise.

Edifício N.º	Aço (€) Vigas			Aço (€) Pilares		
	Referência	Porto	Lisboa	Referência	Porto	Lisboa
1	5811	5300	5811	6664	3841	6664
2	27732	24062	27732	21878	14024	21878
3	6309	6230	7239	5530	5234	9196
4	1967	1967	2034	1359	1359	1505
5	9745	9745	11285	6918	6918	9228
6	4506	3937	4506	3662	2092	3662
7	18421	18421	20866	16133	16133	22141
8	9200	9200	9552	9376	9376	13962
9	1435	1435	1930	1304	1304	2336
10	2459	2398	2459	4563	3117	4563
11	7801	7801	8786	8088	8088	10279
12	21519	21519	24141	16222	16222	27401
13	5690	5316	5690	5349	4747	5349
14	2979	2979	3073	3256	3256	3558
15	9223	7975	9223	9752	7354	9752
Média	8986	8552	9622	8004	6871	10098
D. P.	7713	7169	8201	5913	5072	7942

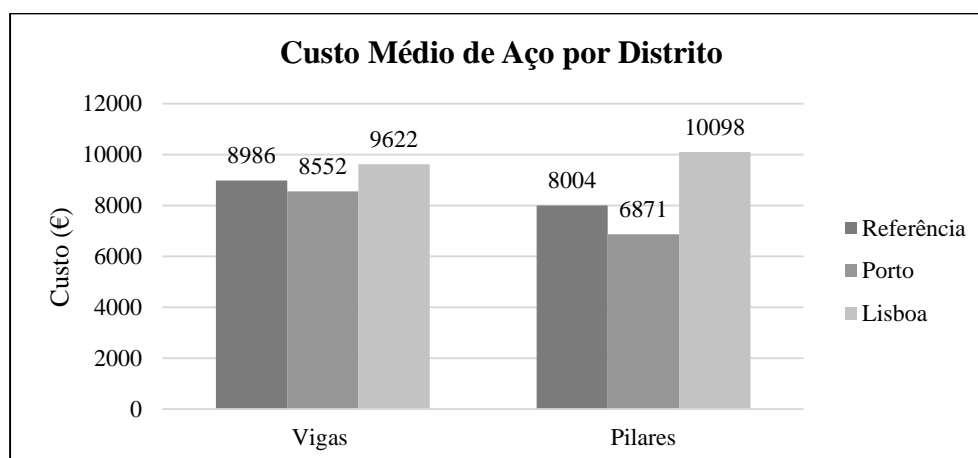


Gráfico F.1: Comparação do custo médio de aço em vigas e pilares para os distritos em análise.

Tabela F.2: Custo total de aço por m² de construção para os distritos em análise.

Edifício N.º	Aço (€/m ²) Total		
	Referência	Porto	Lisboa
1	13,46	9,86	13,46
2	6,69	5,13	6,69
3	5,97	5,78	8,28
4	6,02	6,02	6,40
5	6,53	6,53	8,03
6	10,10	7,45	10,10
7	9,26	9,26	11,52
8	9,84	9,84	12,45
9	7,87	7,87	12,26
10	7,88	6,19	7,88
11	7,74	7,74	9,29
12	9,77	9,77	13,34
13	5,22	4,75	5,22
14	5,27	5,27	5,61
15	8,88	7,17	8,88
Média	8,03	7,24	9,29
D. P.	2,24	1,78	2,78

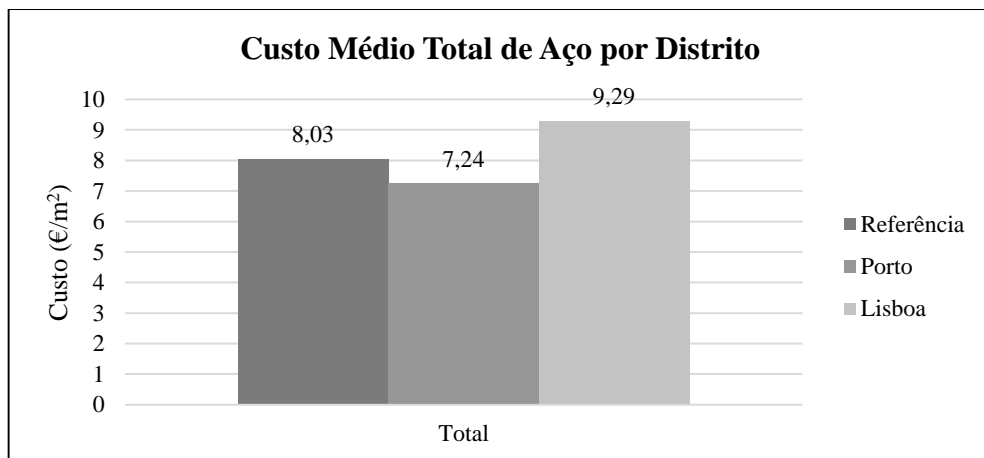


Gráfico F.2: Comparação do custo médio total de aço por m² de construção para os distritos em análise.

Tipo de Armadura:

Tabela F.3: Custo de aço em vigas e pilares para os tipos de armaduras em análise.

Edifício N.º	Aço (€) Vigas			Aço (€) Pilares		
	Referência	A400	A500	Referência	A400	A500
1	5811	5811	5460	6664	6664	5987
2	27732	27732	25615	21878	21878	21659
3	6309	6309	5894	5530	5530	5535
4	1967	1967	1863	1359	1359	1390
5	9745	9745	8965	6918	6918	7053
6	4506	4506	3952	3662	3662	3557
7	18421	18421	17166	16133	16133	15614
8	9200	9200	8049	9376	9376	9227
9	1435	1435	1317	1304	1304	1272
10	2459	3171	2459	4563	4757	4563
11	7801	8965	7801	8088	7991	8088
12	21519	19313	21519	16222	15022	16222
13	5690	5690	4740	5349	5349	4915
14	2979	3257	2979	3256	3280	3256
15	9223	9223	8083	9752	9752	10060
Média	8986	8983	8391	8004	7932	7893
D. P.	7713	7411	7329	5913	5792	5863

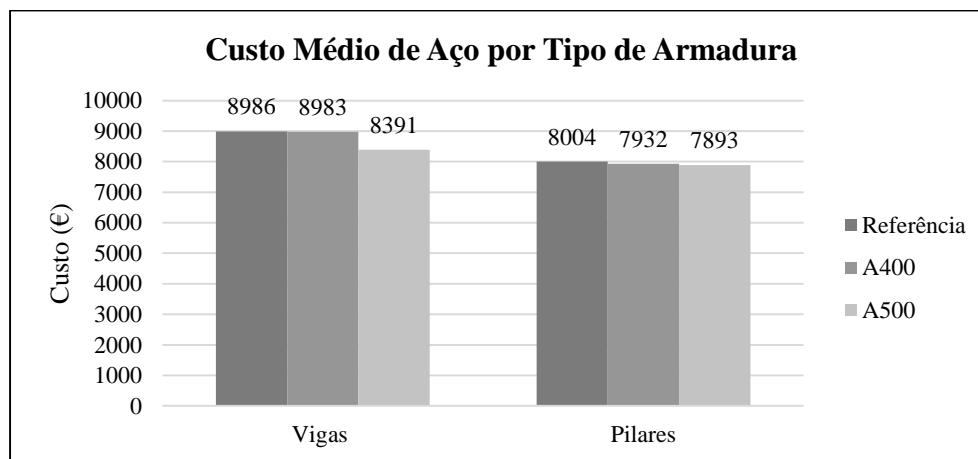


Gráfico F.3: Comparação do custo médio de aço em vigas e pilares para os tipos de armaduras em análise.

Tabela F.4: Custo total de aço por m² de construção para os tipos de armaduras em análise.

Edifício N.º	Aço (€/m ²)		
	Referência	A400	A500
1	13,46	13,46	12,35
2	6,69	6,69	6,37
3	5,97	5,97	5,76
4	6,02	6,02	5,89
5	6,53	6,53	6,27
6	10,10	10,10	9,28
7	9,26	9,26	8,78
8	9,84	9,84	9,15
9	7,87	7,87	7,44
10	7,88	8,90	7,88
11	7,74	8,26	7,74
12	9,77	8,89	9,77
13	5,22	5,22	4,56
14	5,27	5,53	5,27
15	8,88	8,88	8,49
Média	8,03	8,09	7,67
D. P.	2,24	2,19	2,05

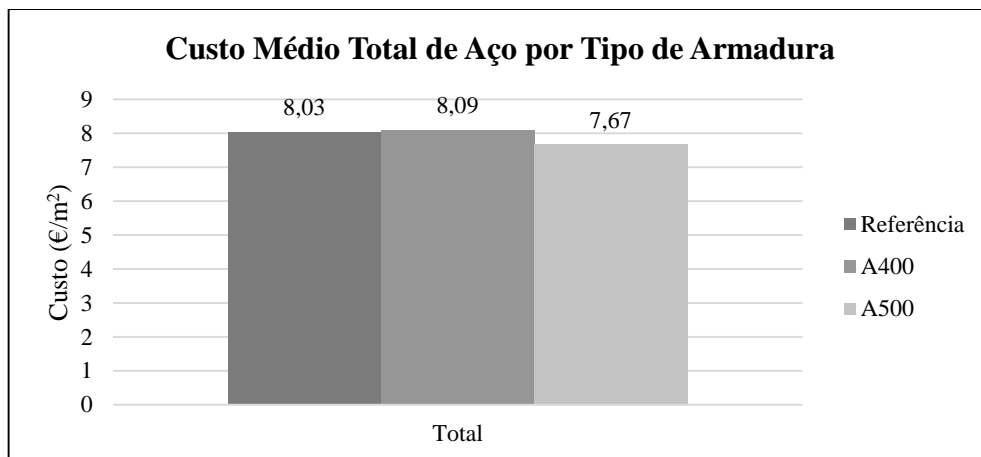


Gráfico F.4: Comparação do custo médio total de aço por m² de construção para os tipos de armaduras em análise.

Classes de Resistência do Betão:

Tabela F.5: Custo de aço em vigas e pilares para as classes de betão em análise.

Edifício N.º	Aço (€) Vigas			Aço (€) Pilares		
	Referência	C20/25	C25/30	Referência	C20/25	C25/30
1	5811	5698	5952	6664	6207	6052
2	27732	27732	27335	21878	21878	19792
3	6309	6309	6533	5530	5530	5875
4	1967	1970	1967	1359	1415	1359
5	9745	9745	9815	6918	6918	6677
6	4506	4562	4506	3662	4043	3662
7	18421	18421	19527	16133	16133	15245
8	9200	9041	8999	9376	8778	8504
9	1435	1372	1349	1304	1203	1123
10	2459	2459	2652	4563	4563	4335
11	7801	7839	7801	8088	8724	8088
12	21519	22411	21519	16222	16954	16222
13	5690	4542	5690	5349	5469	5349
14	2979	3037	2979	3256	3405	3256
15	9223	9223	9223	9752	9752	9752
Média	8986	8957	9056	8004	8065	7686
D. P.	7713	7861	7732	5913	5965	5505

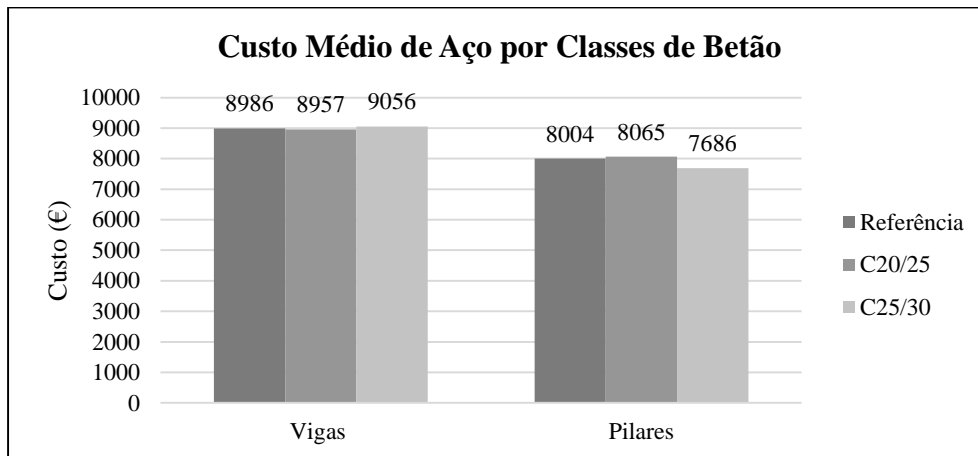


Gráfico F.5: Comparação do custo médio de aço para classes de betão em análise.

Tabela F.6: Custo total de aço por m² de construção para as classes de betão em análise.

Edifício N.º	Aço (€/m ²)		
	Referência	C20/25	C25/30
1	13,46	12,84	12,95
2	6,69	6,69	6,35
3	5,97	5,97	6,25
4	6,02	6,12	6,02
5	6,53	6,53	6,46
6	10,10	10,64	10,10
7	9,26	9,26	9,32
8	9,84	9,44	9,27
9	7,87	7,40	7,10
10	7,88	7,88	7,84
11	7,74	8,07	7,74
12	9,77	10,19	9,77
13	5,22	4,73	5,22
14	5,27	5,45	5,27
15	8,88	8,88	8,88
Média	8,03	8,01	7,90
D. P.	2,24	2,22	2,14

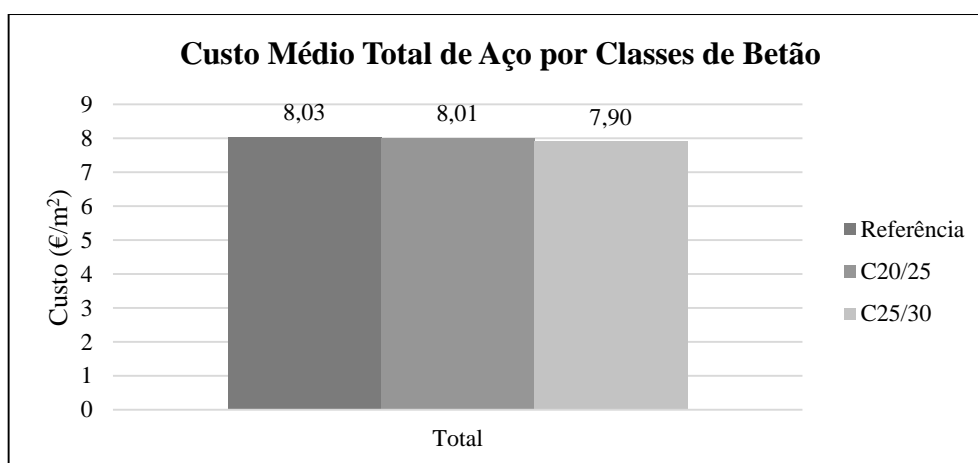


Gráfico F.6: Comparação do custo médio total de aço por m² de construção para as classes de betão em análise.

Espessura do Recobrimento:

Tabela F.7: Custo de aço em vigas e pilares para as espessuras de recobrimento em análise.

Edifício N.º	Aço (€) Vigas		Aço (€) Pilares	
	Referência 2,0 cm	Recobrimento 3,0 cm	Referência 2,0 cm	Recobrimento 3,0 cm
1	5811	5803	6664	6784
2	27732	29100	21878	22161
3	6309	6403	5530	5559
4	1967	1999	1359	1360
5	9745	10088	6918	7106
6	4506	4644	3662	3724
7	18421	18725	16133	16489
8	9200	9262	9376	9546
9	1435	1483	1304	1442
10	2459	3092	4563	4348
11	7801	7827	8088	8202
12	21519	21519	16222	16222
13	5690	5836	5349	5492
14	2979	3035	3256	3396
15	9223	9223	9752	9163
Média	8986	9203	8004	8066
D. P.	7713	7925	5913	5966

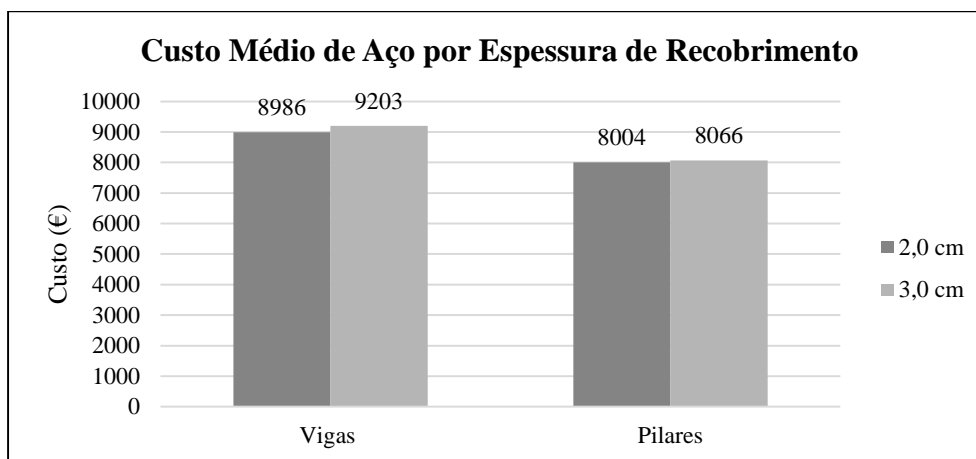


Gráfico F.7: Comparação do custo médio de aço para as espessuras de recobrimento em análise.

Tabela F.8: Custo total de aço por m² de construção para as espessuras de recobrimento em análise.

Edifício N.º	Aço (€/m ²) Total	
	Referência 2,0 cm	Recobrimento 3,0 cm
1	44,13	13,58
2	20,01	6,91
3	25,05	6,03
4	18,17	6,08
5	18,34	6,73
6	27,47	10,35
7	31,07	9,43
8	34,39	9,96
9	25,39	8,41
10	29,52	8,35
11	26,22	7,81
12	41,19	9,77
13	15,25	5,35
14	18,53	5,44
15	25,47	8,60
Média	26,68	8,19
D. P.	8,42	2,23

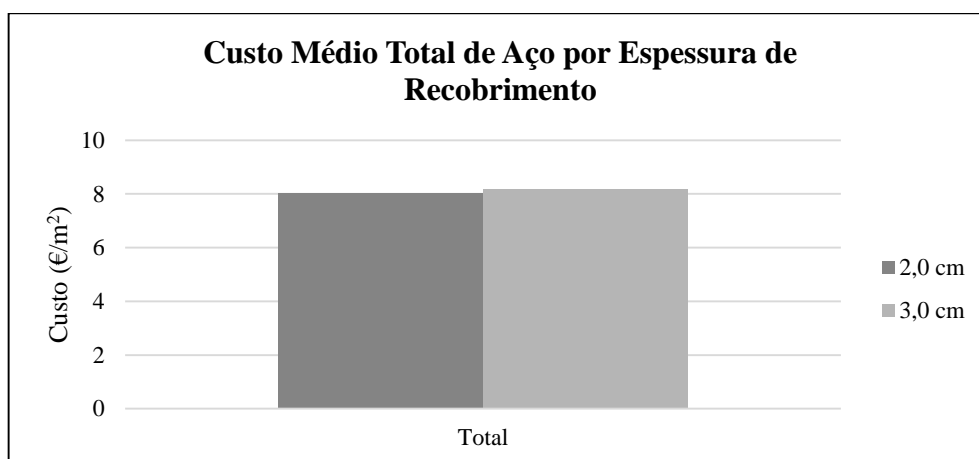


Gráfico F.8: Comparação do custo médio total de aço por m² de construção para as espessuras de recobrimento em análise.

Classes de Ductilidade:

Tabela F.9: Custo de aço em vigas e pilares para as classes de ductilidade em análise.

Edifício N.º	Aço (€) Vigas			Aço (€) Pilares		
	DCL	DCM	DCH	DCL	DCM	DCH
1	5811	8861	9482	6664	8669	10230
2	27732	33579	34057	21878	26707	32070
3	6309	8813	9223	5530	9883	11751
4	1967	2626	2948	1359	1945	2464
5	9745	13981	16274	6918	9944	12608
6	4506	5802	6494	3662	4611	5508
7	18421	22675	26762	16133	22465	29143
8	9200	10966	12344	9376	11746	13163
9	1435	1772	2330	1304	2984	3692
10	2459	2995	3967	4563	9797	14659
11	7801	12960	14617	8088	12585	17627
12	21519	34328	38661	16222	25262	29155
13	5690	6408	8557	5349	8687	11443
14	2979	3847	4920	3256	6530	8757
15	9223	13109	14831	9752	13082	15159
Média	8986	12181	13698	8004	11660	14495
D. P.	7713	10401	11185	5913	7579	9119

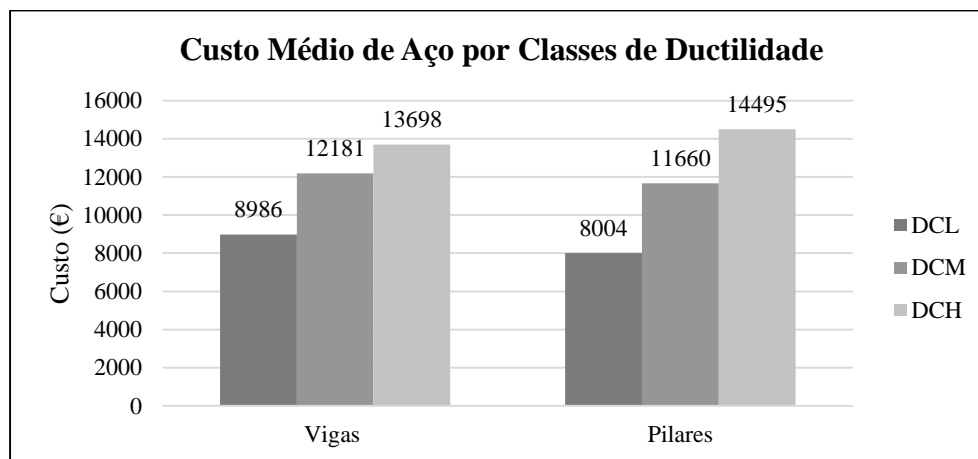


Gráfico F.9: Comparação do custo médio de aço em vigas e pilares para as classes de ductilidade em análise.

Tabela F.10: Custo total de aço por m² de construção para as classes de ductilidade em análise.

Edifício N.º	Aço (€/m ²)		
	DCL	DCM	DCH
1	13,46	18,91	21,26
2	6,69	8,12	8,91
3	5,97	9,42	10,57
4	6,02	8,27	9,79
5	6,53	9,37	11,31
6	10,10	12,87	14,84
7	9,26	12,09	14,98
8	9,84	12,03	13,51
9	7,87	13,67	17,31
10	7,88	14,36	20,91
11	7,74	12,45	15,71
12	9,77	15,42	17,55
13	5,22	7,13	9,45
14	5,27	8,77	11,56
15	8,88	12,25	14,03
Média	8,03	11,68	14,11
D. P.	2,24	3,21	3,95

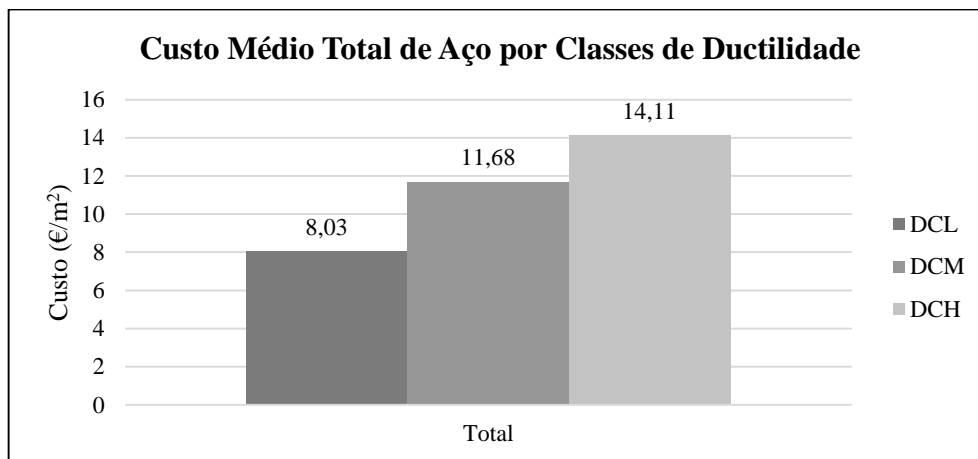


Gráfico F.10: Comparação do custo médio total de aço por m² de construção para as classes de ductilidade em análise.

