

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Daniel da Silva Vale

**Industrialização de Instalações de Edifícios: a
Pré-Construção Modular utilizando
princípios BIM**

Junho de 2022



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Daniel da Silva Vale

**Industrialização de Instalações de Edifícios: a
Pré-Construção Modular utilizando
princípios BIM**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor João Pedro Mendonça de Assunção da Silva
Professor Doutor Miguel Ângelo Dias Azenha
Engenheiro Miguel Pires

Junho de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

A escrita de uma dissertação é a tarefa que traduz em papel o término de um ciclo de estudos. Este documento simboliza o culminar de um trabalho e a marcação do testemunho do nosso conhecimento que foi adquirido durante todo o processo. Embora seja uma tarefa de cariz individual, durante toda a sua fase de desenvolvimento, a sua realização não teria sido possível sem o apoio de todos aqueles que contribuíram de algum modo. Assim, gostaria de agradecer:

- Ao meu orientador, Professor Doutor João Pedro Mendonça, pelo entusiasmo, dedicação e compromisso de trabalho. Pela capacidade de crítica e partilha de conhecimentos durante a elaboração desta dissertação;
- Ao meu coorientador, Professor Doutor Miguel Dias Azenha, pela constante disponibilidade, devoção e incentivo. Por todos os ensinamentos na área do BIM e pela contínua colaboração pautada durante o desenvolvimento do meu trabalho;
- Ao Engenheiro Miguel Pires, do Departamento Técnico e Pré-Construção, da empresa Grupo CASAIS – Engenharia e Construção, pela amabilidade na colaboração e partilha de conhecimento sobre BIM e aplicações em casos reais;
- Ao Arquiteto Pedro Carneiro, da empresa Grupo CASAIS – Engenharia e Construção, pela total disponibilidade e pelos ensinamentos no que diz respeito ao domínio do *software Autodesk Revit*.
- Ao Engenheiro Hugo Sampaio, do Departamento Técnico e Pré-Construção, da Hidrocnt, Instalações Mecânicas, Lda, pela prestabilidade e partilha de conhecimento relativamente ao material adequado a ser utilizado em ambiente de obra.
- Aos Engenheiros Hugo Carneiro e Álvaro Afonso, da BluMEP – Soluções Integradas, Unipessoal, Lda, pelo voto de confiança, motivação, ensinamentos e acolhimento.

Por fim, um agradecimento sincero aos meus pais, irmãos e amigos mais chegados, por todo o apoio incondicional e confiança, que demonstraram e sem os quais, muitas vezes, sentir-me-ia à deriva.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Nas últimas décadas, a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) apresentou uma ineficiência elevada, quando comparada a outras indústrias. Alguns dos fatores que contribuíram, para a queda abrupta do setor, estavam relacionados com a má interpretação de informação técnica, aos erros sistemáticos e às omissões nos projetos, que se refletiam num incremento do custo final do projeto.

O presente estudo surge na tentativa de demonstrar que esse desperdício existente do setor construtivo pode ser colmatado com recurso à integração de tecnologias BIM. Em Portugal, muitas empresas já beneficiam das potencialidades dos BIM, mas existe ainda caminho a percorrer. Nesse contexto, a implementação BIM no Grupo CASAIS tem contribuído para a melhoria dos processos com impacto direto na redução de prazos, mitigação de erros no fabrico e antecipação de incompatibilidades em fase de obra, bem como impactos na consequente evolução tecnológica. Por forma a evoluir na sua capacidade e valências BIM, a empresa está neste momento a investir significativamente no núcleo de Pré-Construção.

A Pré-Construção, com recurso às técnicas de Multi Trade Prefabrication (MTP), assume um papel crucial na industrialização da construção, uma vez que permite o desenvolvimento de diferentes atividades em simultâneo e possibilita a sistematização de tarefas comuns a diferentes projetos de construção, conduzindo à redução do tempo total de trabalho.

No presente estudo aborda-se a implementação das técnicas de Pré-Fabricação e Construção Modular direcionadas para os sistemas mecânico, elétrico e de águas (MEP), num trecho de um corredor de um edifício, verificando os prós e os contras deste processo construtivo. Para tal, procurou-se desenvolver um *rack* capaz de suportar todos os componentes dos sistemas dos projetos MEP e verificando as mais valias da sua criação. Numa fase seguinte, replicou-se o trabalho efetuado numa outra obra, passando pelas fases de projeto, conceção e implementação dos *racks*.

PALAVRAS-CHAVE

Building Information Modeling (BIM), Pré-Fabricação, Pré-Construção Modular, módulo MEP, *rack*.

ABSTRACT

In recent decades, the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry has shown high inefficiency when compared to other industries. Some of the factors that contributed to the abrupt fall in the sector were related to the misinterpretation of technical information, systematic errors and omissions in the projects, which were reflected in an increase in the final cost of the project.

The present study appears in an attempt to demonstrate that this existing waste in the construction sector can be filled with the use of the integration of BIM technologies. In Portugal, many companies already benefit from the potential of BIM, but there is still a way to go. In this context, the BIM implementation in the CASAIS Group has contributed to the improvement of processes with a direct impact on reducing deadlines, mitigating manufacturing errors and anticipating incompatibilities in the construction phase, as well as impacts on the consequent technological evolution. In order to improve its BIM capacity and capabilities, the company is currently investing significantly in the Pre-Construction core.

Pre-Construction, using Multi Trade Prefabrication (MTP) techniques plays a crucial role in the industrialization of construction, as it allows the development of different activities simultaneously and enables the systematization of tasks common to different construction projects, leading to a reduction in total working time.

The present study addresses the implementation of Prefabrication and Modular Construction techniques aimed at mechanical, electrical and water systems (MEP), in a section of a building corridor, verifying the pros and cons of this construction process. To this end, we sought to develop a rack capable of supporting all the components of the MEP projects systems and verifying the benefit of its creation. In a next phase, the work carried out in another work was replicated, going through the design, design and implementation phases of the racks.

KEYWORDS

Building Information Modeling (BIM), Prefabrication, Modular Pre-Construction, MEP module, rack.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Agradecimentos | iii |
| Resumo..... | v |
| Abstract | vi |
| Índice | vii |
| Índice de Figuras..... | ix |
| Índice de Tabelas..... | xiii |
| Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos..... | xiv |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 Industrialização da Construção | 1 |
| 1.2 Objetivos da dissertação | 4 |
| 1.3 Organização da dissertação..... | 4 |
| 2. A modelação da informação no Setor da Construção | 6 |
| 2.1 BIM – “Building Information Modeling” | 6 |
| 2.2 BIM nos Sistemas MEP – Mechanical Electrical and Plumbing..... | 8 |
| 2.2.1 Modelação MEP | 9 |
| 2.2.2 A importância do trabalho colaborativo num projeto MEP | 11 |
| 2.2.3 Interoperabilidade em projetos MEP..... | 18 |
| 2.2.4 Benefícios da implementação BIM nos projetos MEP..... | 19 |
| 2.3 Pré-Fabricação e Construção Modular | 21 |
| 2.4 Multi Trade Prefabrication - Módulos MEP..... | 25 |
| 2.4.1 Multi Trade Prefabrication | 25 |
| 2.4.2 Estrutura do <i>Rack</i> MEP..... | 27 |
| 3. Caso de estudo – Desenvolvimento de um módulo de corredor..... | 29 |
| 3.1 Enquadramento | 29 |
| 3.1.1 Objetivos estabelecidos | 29 |
| 3.2 Descrição dos <i>softwares</i> utilizados e o objetivo da sua utilização..... | 30 |
| 3.2.1 Autodesk Revit 2021 | 30 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.2 | Autodesk DWG TrueView 2020..... | 30 |
| 3.2.3 | Microsoft Excel 2020..... | 31 |
| 3.2.4 | Outros <i>softwares</i> | 31 |
| 3.3 | B&B Hotel Porto Gaia | 31 |
| 3.3.1 | Caraterização do empreendimento | 31 |
| 3.3.2 | Descrição do projeto | 32 |
| 3.3.3 | Dimensionamento do módulo | 33 |
| 3.3.4 | Disposição dos constituintes de cada instalação | 35 |
| 3.3.5 | Construção do módulo com componentes HILTI..... | 42 |
| 3.3.6 | Construção do módulo com tubo FACAR..... | 47 |
| 3.3.7 | Comparação dos módulos..... | 49 |
| 3.3.8 | Fixação do módulo em obra..... | 55 |
| 3.4 | B&B Hotel Guimarães | 57 |
| 3.4.1 | Caraterização do empreendimento | 57 |
| 3.4.2 | Descrição do projeto | 58 |
| 3.4.3 | Transporte e Fixação do módulo em obra | 67 |
| 4. | Considerações finais | 70 |
| 4.1 | Conclusões e Síntese dos resultados..... | 70 |
| | Referências Bibliográficas | 74 |
| | Anexo 1 – Listagem de material..... | 79 |
| | Anexo 2 – Projeto para fabrico <i>rack</i> D | 82 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Índice de produtividade da construção relativamente a outras indústrias desde 1950, nos Estados Unidos [6]. | 2 |
| Figura 2 – Exemplo de um projeto MEP. | 10 |
| Figura 3 – Ferramentas de modelação MEP no Revit. | 10 |
| Figura 4 – Exemplo de objeto paramétrico. | 11 |
| Figura 5 – Esquematização da coordenação MEP. Adaptado de [24]. | 14 |
| Figura 6 – Conhecimentos base requeridos para a coordenação MEP. Adaptado de [23]. | 16 |
| Figura 7 – Comparação entre os processos tradicional e integrado [30]. | 17 |
| Figura 8 – Parâmetros da Industrialização, adaptado de [9]. | 21 |
| Figura 9 – Repartição dos processos e tarefas na conceção de edifícios, adaptado de [33]. | 22 |
| Figura 10 – Comparação dos processos de projeto e coordenação dos métodos de construção tradicional e Pré-Fabricação. Adaptado de [37]. | 24 |
| Figura 11 – Comparação dos processos de construção e montagem dos métodos de construção tradicional e Pré-Fabricação. Adaptado de [37]. | 26 |
| Figura 12 – Rack de um corredor, albergando vários elementos dos sistemas MEP. | 27 |
| Figura 13 – Render do edifício B&B Hotel Porto Gaia. | 32 |
| Figura 14 – Piso 2 do B&B Hotel Porto Gaia. A secção assinalada a vermelho é a que foi alvo de estudo. | 33 |
| Figura 15 – Cotas do espaço direcionado para a disposição dos sistemas MEP. | 33 |
| Figura 16 – Sistemas MEP do B&B Hotel Porto Gaia. | 34 |
| Figura 17 – Sistema de ventilação mecânica da zona em estudo do corredor. | 35 |
| Figura 18 – Sistema de ventilação mecânica modificado da zona em estudo do corredor. | 36 |
| Figura 19 – Sistema de ventilação mecânica modificado da zona em estudo do corredor. Na pormenorização encontra-se um dos trabalhos manuais realizados por meio a dar resposta a uma das muitas interferências suscitadas. | 37 |
| Figura 20 – Sistema de ventilação mecânica modificado da zona em estudo do corredor, com a peça de transição a ser plana na parte superior, permitindo o maior ajuste das condutas ao frame cimeiro do módulo. | 37 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontram esquematizadas as tubagens de água quente (traçado interrompido vermelho), água fria (traçado interrompido azul) e retorno de água quente (traçado interrompido amarelo)..... | 38 |
| Figura 22 – Rede frigorígena do módulo. Autodesk Revit 2020. | 38 |
| Figura 23 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontram esquematizadas as tubagens de água quente (traçado interrompido vermelho), água fria (traçado interrompido azul) e retorno de água quente (traçado interrompido amarelo)..... | 39 |
| Figura 24 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontra esquematizada a rede de abastecimento de água contra incêndios, com a coluna seca indicada a traço vermelho e a coluna húmida a traço amarelo. | 39 |
| Figura 25 – Sistema de águas do módulo, com representação das várias tubagens das duas disciplinas integrantes: distribuição de água e distribuição de água contra incêndios. Na pormenorização verificam-se as picagens efetuadas, por meio a combater as interferências físicas. Autodesk Revit 2020..... | 40 |
| Figura 26 – Disposição da coluna seca relativa ao abastecimento de água contra incêndios, onde se verifica a alteração da cota numa determinada zona por meio a se evitar uma interferência física..... | 40 |
| Figura 27 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontra esquematizada a rede elétrica. | 41 |
| Figura 28 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontra esquematizada a rede elétrica, com a pormenorização da esteira de cabos a passar sobre as tubagens de abastecimento de água. | 42 |
| Figura 29 – Esquematização da disposição dos sistemas integrantes do módulo MEP de um corredor..... | 42 |
| Figura 30 – Sistemas de calhas de instalação e suporte HILTI dos diversos elementos das especialidades. 27(a) MQ-41: Calha de instalação MQ com 41 mm de altura para aplicações de carga médias; 27(b) MQ-21,5: Calha de instalação MQ com 21,5 mm de altura para aplicações de carga ligeiras/médias; 27(c) MQ-21 D: Calha dupla de instalação MQ com 41 mm de altura para aplicações de cargas médias; 27(d) MQK-21-L: Braço de calha para calha de instalação MQ de 21 mm de altura para aplicações interiores de cargas médias. | 43 |
| Figura 31 – Módulo MEP desenvolvido com recurso a componentes HILTI. | 45 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 – Pormenorização de algumas das interferências ocorridas durante a construção da estrutura do módulo. Em 29(b) e 29(d) encontra-se as disposições obtidas após a resolução dos conflitos. | 46 |
| Figura 33 – Pormenorização de alguns dos ligadores metálicos utilizados para a união das calhas utilizadas no módulo. | 47 |
| Figura 34 – Pormenorização de alguns dos ligadores metálicos utilizados para a união das calhas utilizadas no módulo. | 47 |
| Figura 35 – 35(a) Perfil metálico de secção transversal quadrada utilizado na nova solução (tubo FACAR); 35(b) Dimensões do novo perfil metálico criado. | 48 |
| Figura 36 – Módulo MEP desenvolvido com recurso perfis metálicos de secção quadrada 40 mm x 40 mm com 2 mm de espessura. | 49 |
| Figura 37 – Comparação entre a solução com recurso a componentes HILTI e a solução usando tubo FACAR. Em 36(a) as condutas de insuflação de ar estão suportadas em calhas MQ-21,5 estando estas suspensas com auxílio de varões roscados; em 36(b) as condutas estão apoiadas em tubo FACAR soldado à viga solidária. | 49 |
| Figura 38 – Comparação de custos de construção da estrutura do módulo MEP. | 55 |
| Figura 39 – Comparação de custos de construção da estrutura do módulo MEP. | 55 |
| Figura 40 – Comparação entre as metodologias de levantamento e fixação dos módulos. Em 38(a) encontra-se o levantamento segundo o método sequencial e em 38(b) o método combinado. [36] | 56 |
| Figura 41 – Render do edifício B&B Hotel Guimarães. | 57 |
| Figura 42 – Render da zona hoteleira, B&B Hotel Guimarães, especificando um dos Pisos Tipo. | 58 |
| Figura 43 – Render da zona hoteleira, B&B Hotel Guimarães, demonstrando o posicionamento dos módulos MEP sobre o modelo da arquitetura. | 59 |
| Figura 44 – Disposição dos racks horizontais ao longo do corredor de um dos Pisos Tipo, tendo em consideração o modelo da arquitetura. | 60 |
| Figura 45 – Vista de um corredor dos Pisos Tipo, com a disposição dos módulos MEP horizontais. | 60 |
| Figura 46 – Secção crítica referente ao rack A de um corredor dos Pisos Tipo. | 61 |
| Figura 47 – Cálculo estrutural da secção mais desfavorável instalada no local, realizado no software da HILTI. | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 48 – Componentes da estrutura de suporte dos racks A, B, C, D e E. | 62 |
| Figura 49 – Componentes da estrutura de suporte do rack F. | 63 |
| Figura 50 – (a) Estrutura de suporte dos racks de seis metros; (b) União metálica utilizada para criação dos módulos MEP. | 63 |
| Figura 51 – Rack A dos corredores dos Pisos Tipo do hotel, verificando-se que os registos corta fogo se encontram na extremidade dos módulos. | 64 |
| Figura 52 - Tubagem de cobre isolado pressurizado com Azoto, a 41 bar, para que o soldador responsável pelas uniões em obra se aperceba da ocorrência de fugas, no sistema de climatização..... | 65 |
| Figura 53 – Uniões possíveis para tubagem PPR: (a) união simples por eletrossoldadura; (b) união com flange de aço; (c) união mista de latão macho-fêmea..... | 65 |
| Figura 54 – Picagem da rede de abastecimento de água contra incêndio sobre as tubagens PPR responsáveis pelo abastecimento de água, no rack D..... | 66 |
| Figura 55 - Funcionamento da união ranhurada utilizada no sistema de abastecimento de água contra incêndios..... | 66 |
| Figura 56 – Em (a) e (c) encontram-se as modelações do rack A; em (b) e (d) o rack A construído em fábrica..... | 67 |
| Figura 57 – Etapas de transporte dos racks, desde a fábrica onde foram desenvolvidos, em (a), até ao posicionamento em obra, em (d)..... | 68 |
| Figura 58 – Guias metálicas para garantir o alinhamento entre as estruturas de suporte dos módulos..... | 68 |
| Figura 59 – Etapas do processo de montagem dos módulos MEP em obra, desde o levantamento, alinhamento, afixação e união dos mesmos. | 69 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Tipos e descrição de interferências. Adaptado de [17], [23]. | 13 |
| Tabela 2 – Diferentes estratégias de coordenação baseadas na comunicação Espaço-Tempo. Adaptado de [20]..... | 15 |
| Tabela 3 – Conversão de conduta de secção circular para conduta de secção retangular. | 36 |
| Tabela 4 – Comparação das tarefas a serem realizadas com a utilização de cada um dos perfis para construção do rack..... | 51 |
| Tabela 5 – Explicação das quantidades e custo total da aquisição do material HILTI para a construção do rack..... | 51 |
| Tabela 6 – Explicação das quantidades e custo total da aquisição do tubo FACAR para a construção do rack..... | 54 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

2D – Bidimensional

3D - Tridimensional

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BCF – *BIM Collaboration Format*

BIM – *Building Information Modeling*

CAD – *Computer-aided Design*

IFC – *Industry Foundation Class*

IPD – *Integrated Project Delivery*

MEP – *Mechanical Eletrical and Plumbing*

MTP – *Multi Trade Prefabrication*

PPMOF - *Prefabrication Preassembly Modularization Offsite Fabrication*

1. INTRODUÇÃO

1.1 Industrialização da Construção

Durante séculos, a construção civil foi a atividade industrial com um maior consumo de recursos humanos e materiais. Para além de todo o peso que o setor ainda representa na economia, a construção civil desempenhou, até meados do século XIX, um papel no desenvolvimento tecnológico que desde então tem perdido para outras atividades industriais [1].

Estudos nacionais e internacionais demonstram que a produtividade das empresas do sector da construção foi, durante anos, consideravelmente mais baixa do que a do resto da economia [1]. Atualmente, a indústria da construção adquire uma importância considerável na economia do país e Portugal não é exceção [2].

O papel da construção e imobiliário na reativação da economia é amplamente reconhecido e é a própria União Europeia que aponta o setor da construção como uma aposta decisiva para a retoma. Segundo Manuel Reis Campos, Presidente da AICCOPN (Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas), a atividade da construção é preponderante para a economia e para o emprego, podendo e devendo desempenhar um papel relevante na estratégia de combate à crise gerada pelo surto pandémico [3]. Atualmente, no que diz respeito ao setor da construção, apesar dos efeitos da pandemia que ainda se fazem sentir, prevê-se que a atividade mantenha uma evolução globalmente positiva, de acordo com os dados divulgados pela AICCOPN [4].

Com a era da modernização e abertura que se esbateu sobre a maioria das economias, a produtividade, a qualidade e as novas tecnologias ganharam uma nova importância, que se refletiu no setor da construção civil [2].

As tecnologias de informação têm permitido o desenvolvimento de novos métodos de trabalho em todos os setores da economia, incluindo a construção civil. Contudo, face à especificidade da indústria da construção, estudos recentes indicam que a indústria da construção é uma das menos eficientes na adoção das tecnologias da informação, muito fruto da inadequada gestão da informação e da má transição entre as sucessivas fases do processo

construtivo, impossibilitando a migração direta de soluções e atrasando a adaptação de métodos bem aceites noutros setores [1].

As empresas do setor da construção mantêm uma visão de conceção de produtos únicos, onde cada projeto de construção desenvolvido contem métodos de construção específicos e adaptados, sendo o oposto às empresas de manufatura, que rapidamente adotam novas técnicas e métodos capazes, permitindo a múltipla conceção de produtos com uma eficiência crescente[5].

Tendo em consideração as últimas décadas, a indústria da Arquitetura, da Engenharia e da Construção (AEC) demonstrou-se economicamente ineficiente, comparativamente a indústrias como a aeroespacial e a automóvel, tecnologicamente mais avançadas. Em particular, o ramo automóvel tem gerado soluções que têm vindo a ser avaliadas e implementadas noutros setores da economia, como são casos as filosofias de LEAN e PLM (*Product Lifecycle Management*) [1].

O gráfico abaixo representado (Figura 1), expõem uma avaliação da evolução, ao longo das últimas décadas, de vários setores. Como é possível verificar, o processo tecnológico tem-se relevado ineficiente na indústria da construção, uma vez que a produtividade neste setor tem sofrido um decréscimo quando equiparada ao avanço da produtividade de outras indústrias que, só nas últimas quatro décadas, já terá triplicado.

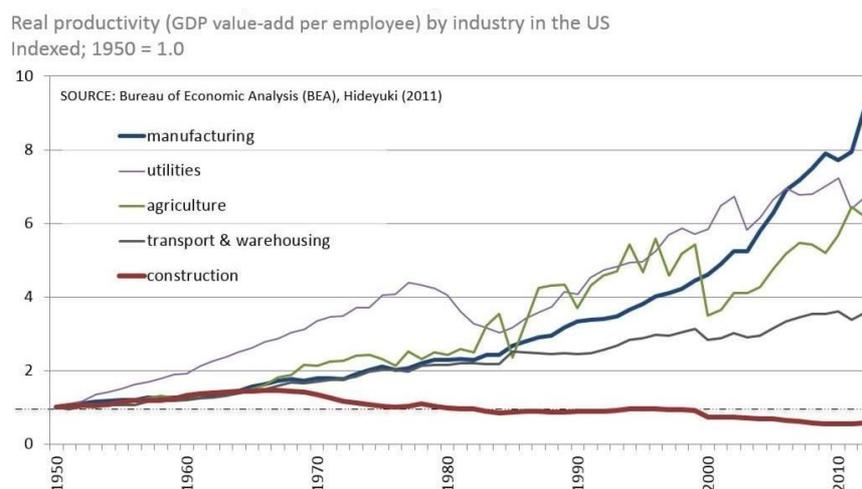


Figura 1 – Índice de produtividade da construção relativamente a outras indústrias desde 1950, nos Estados Unidos [6].

A indústria AEC está perante mudanças e desafios relevantes, quer tecnológicos, quer institucionais, onde se inclui a proliferação da informação, a necessidade de aplicação

apropriada de práticas sustentáveis, as preocupações energéticas globais e a melhoria da produtividade. Usualmente tradicional e avessa à mudança, esta indústria tem vindo a optar por soluções de automatização e modernização. Nos dias que correm, os engenheiros e arquitetos têm que saber lidar com esta mudança tecnológica, partilhando informação e promovendo a comunicação interdisciplinar [7].

Os projetos são cada vez mais complexos e exigentes quanto a custos e prazos de execução, tornando-se imprescindível a colaboração eficiente entre os vários intervenientes do projeto. Assim, tecnologias de comunicação e informação têm crescido exponencialmente nos últimos anos, oferecendo as ferramentas certas para satisfazer essas novas exigências [8].

Surge assim a implantação das ferramentas BIM na indústria AEC, revolucionando o trabalho tradicional do setor. O BIM sistematiza um conjunto de políticas, processos e tecnologias interrelacionados, proporcionando uma metodologia capaz de gerir o projeto do edifício e os seus dados, num formato digital, ao longo da vida do edifício, com a aplicação da filosofia PLM [1], [7].

A integração de metodologias BIM já está a produzir efeitos muito positivos na forma de construir em Portugal, mas há ainda muitos caminhos de melhoramento a explorar. Por forma a evoluir na capacidade e valências BIM, as empresas têm procurado investir significativamente na Pré-Construção.

A Pré-Construção, com recurso às técnicas de *Multi Trade Prefabrication* (MTP), assume um papel crucial na industrialização da construção, uma vez que permite o desenvolvimento de diferentes atividades em simultâneo e possibilita a sistematização de tarefas comuns a diferentes projetos de construção, conduzindo à redução do tempo total de trabalho.

Este processo industrial apresenta-se como uma grande solução, exibindo fortes argumentos no que toca a automação, mecanização, otimização, rentabilização de processos de construção, carências de mão-de-obra, consumos energéticos e controlo de qualidade, em comparação com a construção tradicional.

A Pré-Construção pode desempenhar um papel fundamental no processo evolutivo do setor da construção. Face às suas potencialidades ao nível da sustentabilidade, produtividade e gestão de processos, apresenta-se como um dos principais motores para impulsionar o setor para uma tendência de crescimento e afirmação enquanto indústria produtiva, racionalizada, sustentável e competitiva, ultrapassando os desafios e exigências atuais [9].

1.2 Objetivos da dissertação

Pretende-se com a presente dissertação avaliar de forma prática, por intermédio de um caso de estudo, a implementação das técnicas de Pré-Fabricação e Construção Modular direcionadas para os sistemas mecânicos, elétricos e de águas (sistemas MEP), num trecho de um corredor de um edifício, verificando os prós e os contras deste processo produtivo.

Os projetos MEP são, usualmente, projetos de elevado grau de complexidade e envolvem atividades bastante tediosas e morosas, como a sua coordenação. Durante os últimos anos, com a evolução das tecnologias, os edifícios passaram a incorporar mais sistemas que os tradicionais sistemas a que estávamos habituados. Para a subsistência do edifício, é preponderante uma correta coordenação das tarefas. A presente tese pretende demonstrar como a utilização do BIM pode ajudar nesta tarefa e de que forma a Pré-Construção beneficia o setor da construção.

1.3 Organização da dissertação

No primeiro capítulo - **Introdução** – é efetuado um enquadramento teórico da tese, abordando a indústria AEC, a Pré-Construção e as ferramentas BIM. São ainda apresentados os objetivos da dissertação e a organização do trabalho desenvolvido.

No segundo capítulo - **A modelação da informação no Setor da Construção** – está dividido em quatro subcapítulos: *BIM – “Building Information Modeling”, BIM nos Sistemas MEP – Mechanical Electrical and Plumbing, Pré-Fabricação e Construção Modular e Multi Trade Prefabrication - Módulos MEP*. Pretende-se expor a revisão bibliográfica relativa a cada tema, analisando a informação existente, do conhecimento produzido por outros autores até ao momento.

No primeiro subcapítulo - *BIM – “Building Information Modeling”* – efetua-se um enquadramento geral do BIM e como esta metodologia se define.

No segundo subcapítulo - *BIM nos Sistemas MEP – Mechanical Electrical and Plumbing* – são explorados temas concretos relativos aos projetos MEP. Identificam-se os processos de coordenação, comparando-e o processo tradicional com o processo BIM. Nesta secção,

expõe-se as vantagens que o processo BIM promove num projeto MEP, com recurso ao processo colaborativo.

No terceiro subcapítulo - *Pré-Fabricação e Construção Modular* – explanam-se os pontos fortes e fracos de processos produtivos que procuram reverter a utilização da construção tradicional, isto é, a Pré-Fabricação e a Construção Modular.

No quarto subcapítulo - *Multi Trade Prefabrication - Módulos MEP* – em seguimento do subcapítulo anterior, demonstra-se a aplicação das técnicas MTP na criação de módulos MEP, bastantes densos em sistemas mecânicos, elétricos e de águas.

No terceiro capítulo - **Caso de estudo – Desenvolvimento de um módulo de corredor** – pretende-se demonstrar de forma prática a aplicação dos conceitos e funcionalidades abordados nos capítulos anteriores, com a aplicação das metodologias de Pré-Fabricação e Construção Modular na criação de um módulo MEP.

No quarto capítulo - **Considerações finais** – estabelecem-se as conclusões retiradas com a elaboração da presente dissertação, algumas considerações finais e perspetivas relativas a futuros desenvolvimentos no domínio da Pré-Construção de módulos MEP.

2. A MODELAÇÃO DA INFORMAÇÃO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

Neste capítulo aborda-se a temática da modelação da informação, explanando de que forma a utilização dos princípios BIM contribui para a transição da construção clássica para processos de Pré-Fabricação, relativamente aos sistemas MEP.

2.1 BIM – “Building Information Modeling”

Nos anos 70 do século XX, Charles M. Eastman, juntamente a outros cinco autores, apresentaram um artigo onde se descreviam os problemas dos principais meios de comunicação no processo de construção: os projetos elaborados em papel. De acordo com os autores, estes desenhos 2D são inerentemente redundantes, na medida em que para se descrever um espaço tridimensional com dois desenhos dimensionais, necessitam-se de, pelo menos, dois desenhos, representando-se desta forma uma dimensão duas vezes. Aliado a este entrave, junta-se o facto de que muitos objetos são representados em vários desenhos diferentes, mas com escalas distintas. A combinação destes fatores levava a que alterações realizadas num desenho levassem a mudanças em todo o conjunto de desenhos.

Assim, para revolucionar a forma de representar e projetar os edifícios, surgiram as aplicações de CAD, estimulando o desuso dos tradicionais e demorados projetos elaborados em papel, potencializando a utilização de computadores e ambientes de trabalho virtuais. O surgimento destas aplicações e a digitalização dos processos, diminuiu, expressivamente, o tempo da elaboração dos desenhos e pormenores dos projetos em 2D. Rapidamente, o processo de desenho migrou para o ambiente 3D e, aliado ao crescimento das ferramentas de modelação e cálculo numérico, a complexidade e a exigência dos projetos, entre as diversas especialidades da construção, aumentaram.

A evolução das novas ferramentas, metodologias e aplicações no mercado, traduziu-se na necessidade de descobrir como melhorar e adaptar as relações de trabalho entre as várias especialidades de projeto e entidades envolvidas nas diversas fases de construção. Segundo Eastman, a solução passaria por criar um sistema de computador que pudesse armazenar, manipular e analisar informações detalhadas de projeto, construção e operação. Este sistema de computador seria denominado de *Building Discription System* (BDS).

Nos dias de hoje, verifica-se que os problemas identificados, há cinco décadas atrás, ainda estão presentes, embora que em menor grau, mas ainda ocupando uma parte significativa do processo de construção [10].

A metodologia BIM já está consolidada na indústria AEC e é cada vez mais uma realidade presente. Este conceito tem vindo a sofrer um processo evolutivo e representa uma mudança de paradigma que impactua e beneficia, não só o setor da construção como também a sociedade em geral [11].

Surgindo do acrónimo da expressão *Building Information Modeling*, BIM é “a representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação. Como tal, atua como um recurso de partilha de informação para obter informações sobre uma obra, formando uma base fiável de auxílio à tomada de decisão durante o seu ciclo de vida, desde o início em diante” [12]. Usualmente, o termo BIM é utilizado como *Building Information Modeling*, mas pode também significar *Building Information Model*, em que a sigla “M” é o acrónimo de “*Model*”, referindo-se ao modelo ou, por outras palavras, à “representação digital da instalação”; por outro lado, quando representa “*Modeling*” alude à “ação de criar um modelo eletrónico de uma obra, com propósitos de visualização, análises para fins de engenharia, análises de conflito, verificação de critérios de código, engenharia de custos, Pré-Fabricação, orçamentação, entre muitos outros” [12].

Aquando do seu surgimento, a sigla BIM era frequentemente empregue como referência a um tipo de *software*, à qual eram associadas novas ferramentas de desenho e modelação. Atualmente, atingiu-se o consenso numa definição mais ampla do conceito do BIM, ultrapassando o *software* que o suporta, assumindo-se como uma metodologia de abordagem à construção [13].

O BIM foi desenvolvido com o intuito de facilitar a integração, interoperabilidade e colaboração da indústria da construção, assinalando uma nova geração nas tecnologias da informação e uma nova abordagem às ferramentas CAD, através da possibilidade de armazenamento, processamento, partilha, análise e troca de informações relativas a um determinado edifício, passíveis de utilização ao longo do ciclo de vida da obra [14].

Muitas vezes, de forma errada, as ferramentas BIM são associadas a uma nova dimensão das tradicionais ferramentas CAD 2D, que apenas traduz as ferramentas CAD 3D, que remontam aos primórdios da computação gráfica. As potencialidades das ferramentas BIM garantem

uma imensidão de funcionalidades que vai muito além das permitidas pelas ferramentas CAD 3D, oferecidas pela integração de processos automatizados inerente aos modelos BIM [15].

2.2 BIM nos Sistemas MEP – Mechanical Electrical and Plumbing

Os sistemas mecânicos, elétricos e de águas, comumente conhecidos como sistemas MEP, são sistemas que regulam a temperatura ambiente e conduzem redes de esgotos. Os sistemas MEP representam uma parte substancial de um edifício e influenciam diretamente a sua eficiência, segurança e utilização energética. Estes projetos englobam o dimensionamento das redes e a definição dos locais dos diferentes componentes das infraestruturas, que por vezes apresentam um espaço reduzido, onde é fundamental evitar interferências multidisciplinares, respeitando o projeto diversificado e respetivos critérios operacionais.

Nos dias que correm, há uma necessidade crescente na melhoria de condições e qualidade do interior dos edifícios, levando a que novos sistemas tenham vindo a ser desenvolvidos, fazendo com que, atualmente, os projetos MEP não incluam somente os sistemas tradicionais. Desta forma, surgiram sistemas adicionais como os de proteção e deteção de fogo, controlo, telefone e internet. Cada sistema é uma combinação complexa de diversos componentes, entre tubagens, cabos, condutas, entre muitos outros. Em obras especiais, como aeroportos e estações férreas, a instalação dos sistemas MEP representam 20%-40% do custo total de obra e ocupam mais de 50% da duração total de construção do edifício [16].

Os projetos de infraestruturas MEP tornaram-se bastante complexos por forma a darem resposta às necessidades do edifício e a designs sofisticados, principalmente quando se trata de obras “*high-tech*” e infraestruturas de grande escala, como centros hospitalares. Assim, a coordenação dos sistemas MEP tornou-se o maior desafio para as equipas coordenadoras e recorre às suas capacidades de visualização 3D. Apesar do seu elevado grau de complexidade, estes sistemas desenvolvem-se num espaço limitado e invisível ao utilizador comum, regendo-se por critérios rigorosos de conceção, construção e manutenção [10].

Face ao grau de complexidade dos projetos, por vezes as vontades dos clientes acabam por não ser totalmente satisfeitas. Apesar da constante evolução do setor, atualmente, este é um processo manual e os proprietários são dependentes dos projetistas e do auxílio de desenhos, imagens e *renders* para o entendimento do projeto. Os proprietários terão de ter a capacidade de gerir e avaliar o alcance do projeto tendo em consideração as suas necessidades em cada

fase, que muitas vezes envolve uma análise espacial e funcional do mesmo [17]. Para tal, munem-se de auxílio tecnológico, permitindo orquestrar os diferentes sistemas MEP.

2.2.1 Modelação MEP

Quando o projeto de arquitetura deixa de estar na fase de conceito e encaminha-se para o produto final, com a localização dos componentes estruturais também já bem definida, surge a figura do modelador BIM MEP. Esta modelação aparece na fase de pré-construção, debruçando-se na definição paramétrica e espacial dos sistemas MEP, coordenação dos modelos e criação de desenhos e detalhes de projeto.

Apesar de não se tratar de um *software* de modelação, análise ou simulação, o BIM não é possível de se aplicar sem um destes. São vastas as ofertas existentes no mercado no que concerne a *softwares* de modelação BIM. A maior líder do mercado mundial trata-se da *Autodesk, Inc.* e dispõe ao utilizador uma grande variedade de *softwares* como o *Infraworks* para auxílio nos fluxos de trabalho no BIM, apresentando opções de trabalho colaborativo na nuvem, automatização de processos e colaboração com outras plataformas; o *Navisworks* para revisão, coordenação e simulação de projetos; o *AutoCAD* para desenvolvimento de projetos e desenhos técnicos; o *Revit* para modelação e o *Vasari* para análise energética, entre muitos outros.

No que diz respeito a *softwares* de modelação 3D, existem outras opções, alheias à *Autodesk, Inc.*, como é o caso do *ArchiCAD*, da *Graphisoft, Inc.*, o maior concorrente do *Revit*. Ambos os *softwares* são bastante completos e intuitivos ao utilizador, tendo o *ArchiCAD* a vantagem de ser compatível com os sistemas operativos *Windows* e *MacOS*.

Ainda no universo dos *softwares* BIM, apesar na menor popularidade, mas com a vantagem de apresentarem custos de aquisição mais competitivos, surgem o *Bentley*, o *Architecture*, o *3D CAD Architecture* e o *Vectorworks* [18].

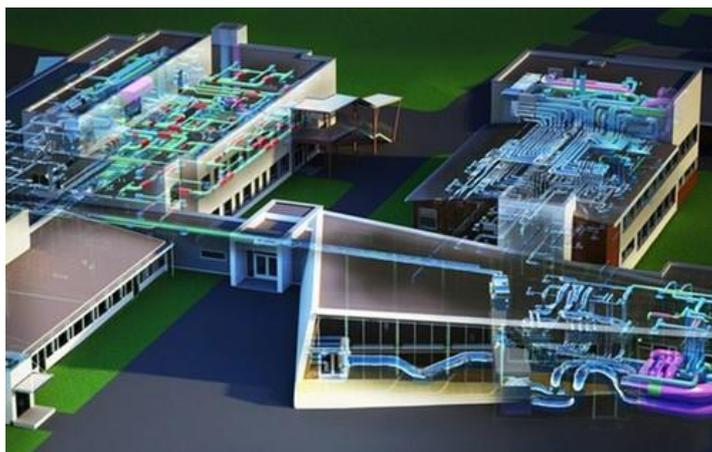


Figura 2 – Exemplo de um projeto MEP.

Cada *software* apresenta uma interface própria, com várias ferramentas de auxílio à modelação. Na *Figura 3* encontra-se algumas das ferramentas que o *Revit* oferece.

No caso deste *software*, verifica-se que há um agrupamento das ferramentas de modelação de acordo com os diversos sistemas, dividindo-se em sistema AVAC, mecânico, de canalizações e tubagens e elétrico.

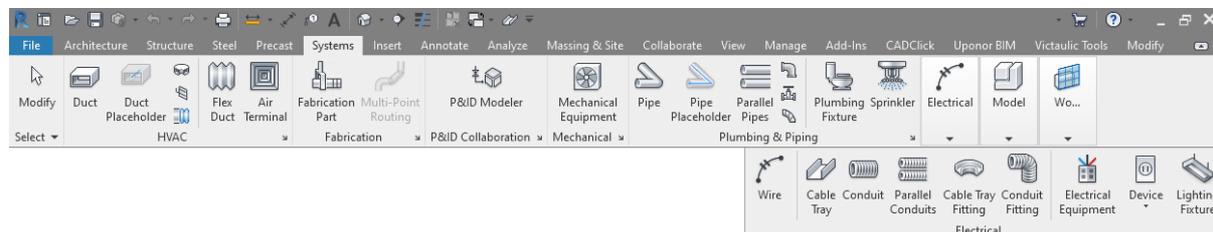


Figura 3 – Ferramentas de modelação MEP no *Revit*.

O processo de modelação é multifacetado, levando a que a modelação de um dado elemento possa ser realizada de formas diferentes. A título de exemplo, no *Revit*, para a modelação de um tubo, várias metodologias podem ser adotadas. A primeira prende-se com a colocação de um tubo já com as suas próprias características, como diâmetro, caudal e material. A segunda já permite a definição das características do próprio objeto, como o material e o seu sistema. Nesta abordagem, o dimensionamento pode ser feito de forma automática, com recurso à ferramenta de cálculo.

Para além das metodologias suprarreferidas, é ainda possível a modelação paramétrica baseada em objetos. Os objetos paramétricos contêm uma infinidade de utilidades e

parâmetros que promovem uma modelação mais eficiente, potencializando a automação e contribuindo para a manutenção da consistência entre as informações do modelo. Existem várias bibliotecas *online* que os fabricantes disponibilizam ao utilizador, onde é possível extrair os objetos paramétricos pretendidos. Como exemplo de um objeto paramétrico, na Figura 4, encontra-se um suporte de tubagens da HILTI, que tem informações do fabricante relativas ao diâmetro de aperto, tipo de conector com a calha e comprimento do varão roscado, todas elas indispensáveis para um correto dimensionamento [19].

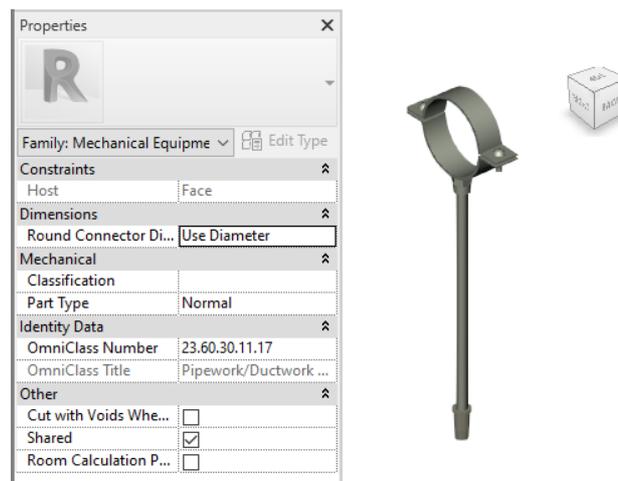


Figura 4 – Exemplo de objeto paramétrico.

2.2.2 A importância do trabalho colaborativo num projeto MEP

Durante muitos anos, sem o auxílio de *softwares* de modelação, a forma comum de coordenação de modelos MEP dava-se pela consulta e comparação direta entre desenhos técnicos. Nesta metodologia, cada projeto de especialidade era desenvolvido detalhadamente e, posteriormente, analisavam-se os potenciais conflitos e objeções à fase de montagem dos sistemas. Para efetuar a comparação dos desenhos, recorria-se a uma mesa de luz e as interferências eram identificadas numa folha transparente, por forma a que se realizassem os devidos ajustes, de acordo com o plano previamente estabelecido para conclusão do projeto. Logicamente, por se tratar de uma metodologia bastante morosa e dispendiosa, tornava o projeto não isento de erros, lento e impraticável [20]. Geralmente, cerca de 2% do custo do projeto de construção é referente à coordenação das diferentes especialidades MEP. A correção das falhas provenientes do projeto pode chegar a centenas de milhões de euros [21].

A coordenação dos sistemas MEP é, para muitos profissionais da indústria da construção, considerada uma das tarefas mais desafiantes no processo de desenvolvimento de um projeto de construção, face à elevada complexidade das configurações de cada sistema, aos requisitos de especialidade e às suas restrições. A coordenação MEP é um processo iterativo e baseado na experiência, necessitando de tempo e recursos humanos consideráveis. Apesar de ser repetida ao longo de todos os projetos, raramente existe uma maneira sistemática de capturar e armazenar as informações produzidas no processo para formalizar lições aprendidas e servir como suporte para tomadas de decisão futuras.

Uma correta coordenação dos sistemas é preponderante para que o projeto seja bem-sucedido, uma vez que elimina potenciais conflitos entre sistemas ainda antes da instalação *in situ*. Tipicamente, os projetos MEP fornecidos pelos engenheiros vêm em forma esquemática e requerem um trabalho minucioso, pelos empreiteiros especializados, com a aferição das dimensões reais dos componentes, adição de detalhes de fabricação e percepção dos requisitos de construção e operação dos diversos componentes dos sistemas. Quando os sistemas são projetados separadamente, os problemas de coordenação elevam-se exponencialmente, levando a que os conflitos apenas sejam detetados já em fase de construção, traduzindo-se em atrasos na sua resolução no terreno de obra e no aumento do custo, face à reformulação para a resolução desses conflitos.

A utilização das ferramentas BIM nos projetos de construção contribui para a redução de erros e omissões, causados por problemas de colaboração entre arquitetos, engenheiros e profissionais da construção e ainda possibilita a diminuição de trabalhos repetidos.

O aumento do poder computacional e o surgimento de tecnologias de modelação tridimensional e desenho assistido por computador, permitiram a deteção de potenciais conflitos de um modo mais fácil e eficiente, comparativamente aos desenhos 2D até então utilizados [22]. Os fatores que levam a coordenação de sistemas MEP baseada em desenhos 2D ser mais lenta e cara são vários, como: a elevada quantidade de desenhos produzidos pelas diferentes participantes, que tornam a sua percetibilidade confusa; o elevado número de intervenientes; a constante atualização dos projetos de arquitetura e estrutura; a necessidade de redefinir todo o desenho esquemático aquando do surgimento de erros e incompatibilidades entres os vários projetos em análise.

Na coordenação dos sistemas MEP, as interferências surgem de diferentes formas. Na Tabela 1 encontram-se identificadas as mais comuns [17], [23].

Tabela 1 – Tipos e descrição de interferências. Adaptado de [17], [23].

| Tipo de interferência | Descrição |
|-----------------------|---|
| Física | Uma interferência física ocorre quando dois ou mais componentes interferem fisicamente. |
| Prolongada | Uma interferência prolongada ocorre quando o componente interfere com um espaço alargado, como um caminho de acesso para manutenção que está associado a outro componente. |
| Funcional | A interferência funcional ocorre quando o engenheiro posiciona dois ou mais elementos de tal forma que a sua localização impede o seu bom funcionamento. Por exemplo, quando o tubo bloqueia a luz de um candeeiro. |
| Temporal | As interferências relacionadas com o tempo ocorrem quando um engenheiro posiciona um componente de tal forma que este irá impedir ou dificultar a sequência da construção. |
| Futura | Interferências futuras ocorrem quando os projetistas posicionam componentes em localizações que não permitem efetuar operações de rotina e manutenção nem expansão futura. |

Li Wang e Fernanda Leite desenvolveram uma representação esquemática para a coordenação MEP, presente na Figura 5. O esquema integra itens de conhecimento relacionados à coordenação dos sistemas MEP e gestão do processo de coordenação. Segundo os autores, o processo de pensamento geral dos especialistas durante a coordenação de um dado projeto recai em quatro categorias: a descrição, o contexto, a evolução e a gestão da interferência. As informações retiradas permitem aprimorar o processo coordenativo, podendo ser utilizadas para a análise do desempenho e produtividade da coordenação [24].

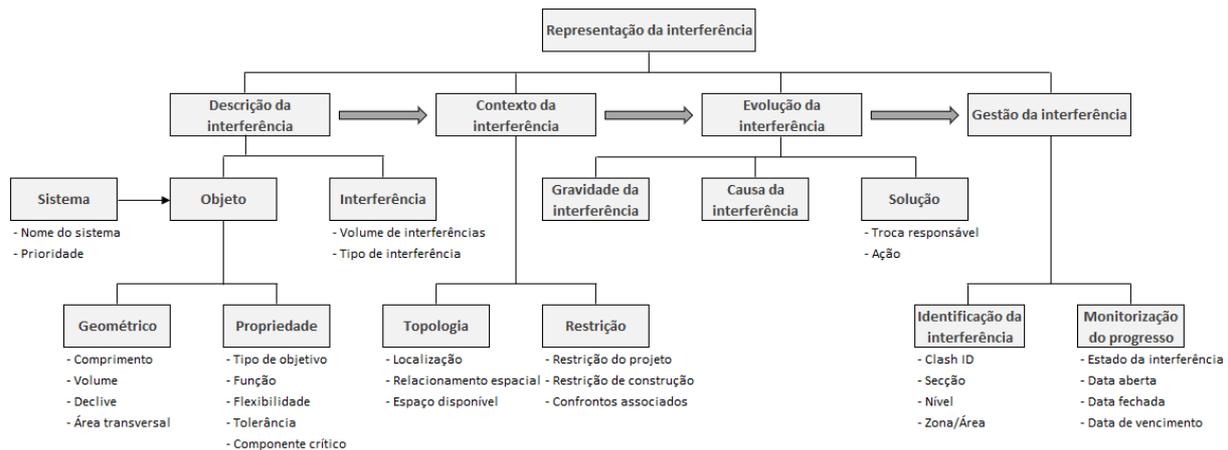


Figura 5 – Esquematisação da coordenação MEP. Adaptado de [24].

A produtividade da coordenação MEP pode ser afetada por vários fatores, de onde se sobressaem a qualidade e o planeamento do projeto, a complexidade dos sistemas MEP e o nível de experiência da equipa de trabalho [20], [25].

A coordenação MEP não é linear e a sua produtividade depende do tipo de estratégia utilizada. Em 2013, um estudo levado a cabo por Ghang Lee e Jonghoon “Walter” Kim, apresentava a comparação entre as estratégias de coordenação paralela e coordenação sequencial, nos projetos MEP. Por forma a viabilizarem o estudo, contrataram-se dois coordenadores com o mesmo nível de experiência em BIM e coordenação MEP. A ambos os coordenadores MEP foram cedidas duas zonas de um mesmo edifício, cujas densidade e complexidade dos sistemas mecânicos eram idênticas. O estudo revelou que, para um mesmo projeto, a estratégia de coordenação sequencial consegue ser três vezes mais rápida que a coordenação paralela. Em muitos casos, a expressão “processo paralelo” é indicativo de que se trata de um processo “eficiente”. Contudo, na coordenação MEP, dá-se prioridade ao processo de coordenação sequencial, pois é mais efetiva [22], [26].

Na coordenação paralela, os modelos MEP são desenvolvidos em simultâneo, havendo a ausência de comunicação e coordenação entres os projetistas. Só após os modelos estarem completos é que é possível efetuar a justaposição, o que proporciona o surgimento de mais colisões, aumentando a concentração de informação e diminuindo o tempo de eficiência. Por sua vez, a coordenação sequencial estabelece prioridades em termos construtivos, onde os modelos MEP são desenvolvidos sequencialmente. Os princípios desta estratégia de coordenação podem ser sumarizados em três frases chave: “de dentro para fora”, “do maior para o menor” e “do mais complexo para o mais simples” [22].

“De dentro para fora” indica que o projeto MEP tem lugar logo após o desenvolvimento dos projetos de arquitetura e estrutural e trata-se de um processo iterativo; “do maior para o menor” aponta que, tendo em consideração o espaço limitativo para disposição dos sistemas MEP, os elementos maiores (condutas), por serem mais difíceis de mover, comparativamente a elementos mais pequenos (caminhos de cabos), devem ser posicionados primeiro; “do mais complexo para o mais simples” refere que devem ser implementados primeiro os elementos com restrições de fixação mais rigorosas, como as tubagens, seguindo-se dos mais simples, como a esteira de cabos [22].

A comunicação e a colaboração entre as diferentes partes podem ser efetuadas com recurso a ferramentas baseadas em nuvem. Contudo, para que este tipo de armazenamento de dados seja possível de ser utilizado, todos os membros integrantes das equipas de trabalho devem ter a habilidade e experiência necessárias para aceder e operar com este meio de partilha de informação. Assim, diferentes tipos de estratégias de coordenação dos sistemas MEP podem ser atendidos para dar resposta aos requisitos do projeto. Para Yarmohammadi e Ashuri, os principais fatores que distinguem as estratégias de coordenação são a localização e o tempo em que a partilha de informação é efetuada, como demonstra a Tabela 2 [20]. As mais comuns entre as construtoras são a coordenação remota e a regular. A popularidade da estratégia de coordenação remota deve-se à grande capacidade das ferramentas de conexão remota em facilitar a comunicação entre os coordenadores. A coordenação com recurso a computação em nuvem, apesar de não se encontrar entre as mais recorrentes, tem tido um acréscimo significativo, uma vez que fornece aos participantes a possibilidade de visualizar em tempo real os modelos virtuais e os documentos do projeto atualizados [20].

Tabela 2 – Diferentes estratégias de coordenação baseadas na comunicação Espaço-Tempo. Adaptado de [20].

| | | Tipo de comunicação | |
|-------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| | | Em simultâneo | Tempos diferentes |
| Localização | Localização igual | Regular | Paralela |
| | Localização diferente | Computação em nuvem | Remota |

A coordenação MEP não se trata apenas da comunicação entre os vários intervenientes de um projeto nem da comparação de desenhos. A coordenação MEP assenta, especialmente,

em três conhecimentos base: projeto, construção e a operação e manutenção. Os ensinamentos retirados de cada um dos conhecimentos base auxilia na coordenação dos sistemas MEP, como se demonstra na Figura 6 [23]. Analisando a figura, percebe-se que em cada conhecimento base listam-se os aspetos a considerar dos elementos integrantes dos sistemas MEP. Por exemplo, no Projeto, especificam-se a função de um dado componente, o sistema ao qual este pertence, o material deste e o seu custo [23].

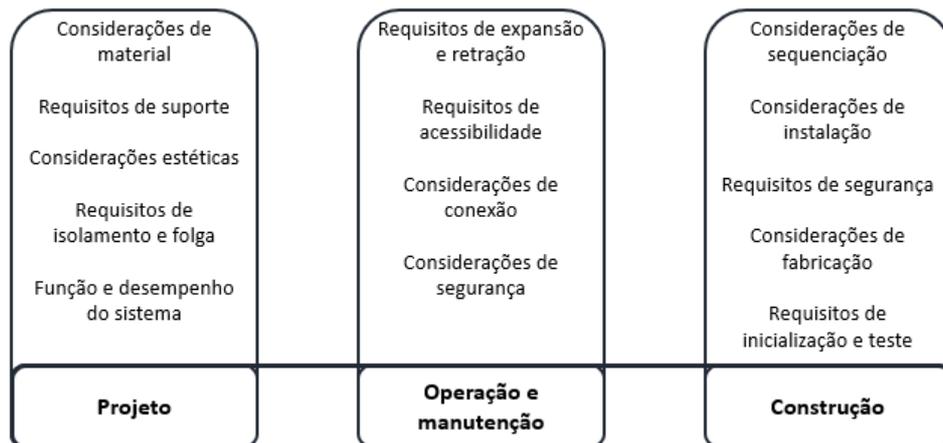


Figura 6 – Conhecimentos base requeridos para a coordenação MEP. Adaptado de [23].

Como já referido no presente documento, os projetos MEP são bastante complexos e, portanto, aqueles que mais beneficiam com a implementação do BIM. Com o aumento da complexidade dos edifícios, é inconcebível que a coordenação dos diversos sistemas e a correção de erros seja feita apenas com recurso a reuniões periódicas. Os projetos MEP incluem diferentes equipas de trabalho e cada uma destas é responsável por diferentes projetos e diversas informações. Deste modo, para que o projeto seja levado a bom porto, a colaboração entre os diversos intervenientes deverá ser completa e a partilha de informação aplicada, através de uma coordenação virtual, com recurso a modelos de informação da construção.

Os modelos BIM possibilitam uma relação entre os arquitetos, consultores, projetistas e engenheiros mais inclusiva e colaborativa. Com recurso a estes modelos, o processo de coordenação MEP passou a ser feita em três estágios: primeiramente, o modelo BIM de cada sistema é gerado e posteriormente enviado ao coordenador BIM que, combinando com os modelos dos restantes sistemas, cria o modelo geral dos sistemas MEP; numa segunda instância, o coordenador analisa o modelo criado, com auxílio de um *software* (como o *Autodesk Navisworks Manage* e o *Solibri Model Checker*) capaz de averiguar a presença de

interferências entre os projetos das especialidades; na última fase, reúnem-se os projetistas, do sistemas mecânico, elétrico e de águas, e procura-se solucionar as interferências detetadas, com análise do relatório de erros. Este processo é substancialmente mais rápido comparativamente ao processo tradicional [22], [24].

Face à interação dos diferentes operadores em ambiente BIM é possível uma partilha de ideias diversificada, com recurso a simulações visuais. O BIM promove ainda uma maior celeridade na resposta a alterações do projeto. Com efeito, o BIM assenta na partilha de trabalho, o que implica que valores morais como o respeito e confiança se elevem, uma vez que o projeto é partilhado na rede e o conceito de autor único deixa de existir.

O modelo central único contém toda a informação subdividida por áreas disciplinares que, permanecendo num local partilhado na rede, admite o trabalho simultâneo num mesmo projeto. Contudo, o utilizador tem ainda a possibilidade de trabalhar individualmente no modelo central, descarregando-o e posteriormente partilhando-o na rede, fazendo com que o modelo seja sincronizado e conferido de forma automática, verificando a existência de conflitos com os restantes projetos de especialidades. Desta feita, é possível minimizar os conflitos do projeto em tempo real. Na Figura 7 encontra-se a comparação entre o processo tradicional e um processo integrado [30].

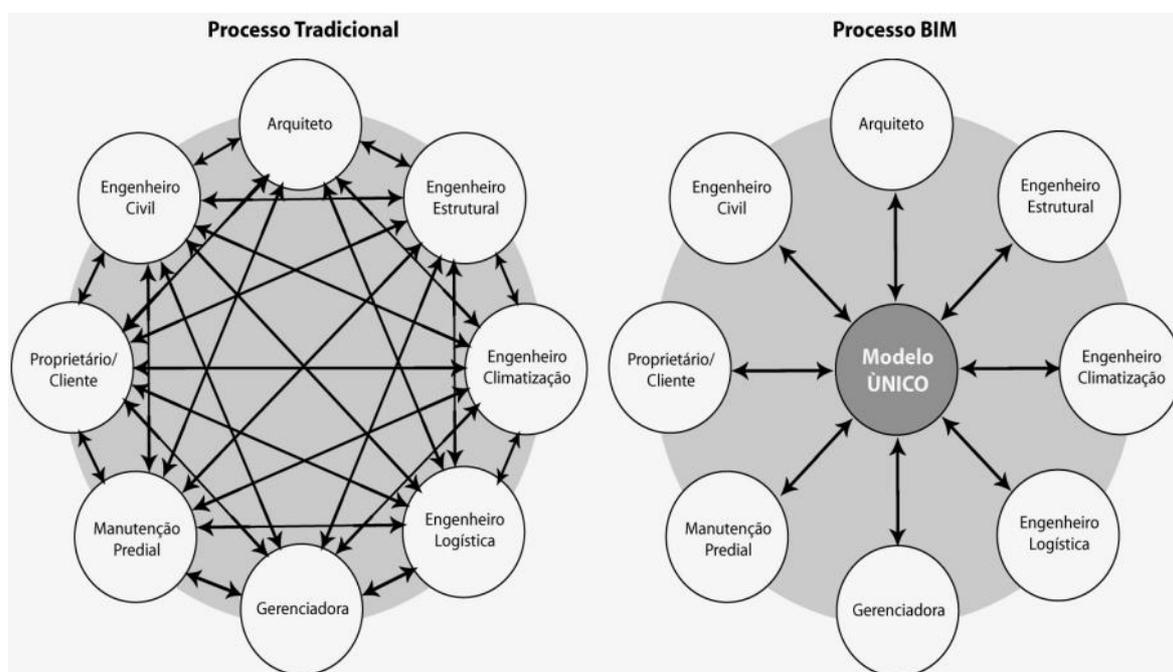


Figura 7 – Comparação entre os processos tradicional e integrado [30].

2.2.3 Interoperabilidade em projetos MEP

Um dos grandes desafios da indústria da construção é a organização da informação e de todos os intervenientes do projeto. A equipa de projeto pode ser composta por arquitetos, empreiteiros, engenheiros, orçamentistas, entre outros. Cada um dos membros necessita de diferentes informações relativas à construção. No processo tradicional, onde são vários os canais de comunicação entre os diversos intervenientes, frequentemente, originam-se erros, omissões e por vezes perdas de informação [27]. A metodologia BIM permite centrar um volume de informação referente ao ciclo de vida do edifício, num único modelo, reduzindo significativamente os problemas adjacentes ao processo tradicional.

A interoperabilidade é, segundo Eastman, a capacidade de troca de dados entre aplicações, e para múltiplos fins contribuir simultaneamente para o trabalho manual, que no mínimo, elimina a necessidade de copiar manualmente os dados previamente gerados noutra aplicação [28]. Uma vez que os projetos MEP integram várias equipas de diferentes disciplinas, as questões relacionadas com a interoperabilidade são preponderantes.

Os projetos MEP são bastante complexos, abrangendo engenheiros Mecânicos, Elétricos e Hidráulicos. Cada um dos participantes do projeto necessita e gera diferentes informações. Na perspetiva da coordenação, as informações fundamentais são, globalmente, de cariz geométrico e espacial. Assim, por forma a evitar interferências, torna-se apenas necessário ser conhecedor do espaço ocupado por cada componente. Contudo, neste tipo de projetos, as informações geradas num modelo BIM vão mais além. Por exemplo, num projeto AVAC, informações como o caudal de ar, o material e a data de instalação são preponderantes para efeitos de dimensionamento, manutenção e análise energética. Assim, torna-se fulcral o armazenamento da informação de forma clara, num ficheiro de formato aberto e que seja executável por todos os membros do projeto.

A necessidade da partilha de dados dos diferentes *softwares* entre si de forma clara com a ausência de ambiguidades e omissões, levou a que a *BuildSmart* desenvolvesse o *Industry Foundation Class*, mais conhecido por IFC. Destinado ao *openBIM*, o IFC é um esquema de dados em formato aberto, utilizado na transferência de dados que representam elementos do modelo e as suas funções, entre os *softwares* distintos [29].

O IFC tem a capacidade de reconhecer a localização exata e os parâmetros de cada sistema, mesmo tendo sido modelados em *softwares* diferentes. Deste modo, é possível a coordenação entre projetos multidisciplinares com vista à sua aprovação.

Em países em que o BIM já é uma metodologia corrente, são criadas bibliotecas de objetos paramétricos BIM. Estas bibliotecas são, em grande parte, direcionadas para os projetos MEP, como esteiras de cabos, torneiras, *sprinklers*. Estes objetos contêm informações que deverão ser interpretadas por todos os *softwares*, algo que se torna possível com recurso ao IFC.

2.2.4 Benefícios da implementação BIM nos projetos MEP

A implementação de modelos de informação nas práticas de trabalho promove alterações significativas. A modelação virtual 3D e a introdução de BIM permitem antever decisões de projeto desde as fases preliminares do processo construtivo, o que conduzirá a um número de vantagens considerável.

Durante a fase de conceção o uso do BIM maximiza o seu impacto no projeto, desde a ideia concetual, uma vez que a sua capacidade para afetação do custo será maior e diminuirá consoante o desenvolvimento e conclusão do edifício. Por sua vez, com o decorrer do tempo, o custo associado a alterações do projeto aumenta drasticamente. As equipas podem de uma forma metódica e criativa conceberam ideias e soluções para os problemas antes que estes possam afetar de forma negativa as componentes financeira e construtiva do projeto. No processo tradicional o maior esforço está concentrado a meio do tempo de duração do projeto, coincidindo com a fase de produção de documentos. No que concerne ao processo colaborativo, o maior esforço dá-se nas primeiras fases do projeto.

Os projetos MEP são aqueles que maior atenção requerem, face ao seu elevado grau de complexidade. A utilização do BIM traz múltiplas e diferentes vantagens a cada um dos intervenientes do projeto, ao longo de todas as fases de construção do edifício.

Alguns dos benefícios da sua utilização são:

- Tomar decisões mais fundamentadas em termos de especificações e custos em fase de projeto;
- Reduzir as mudanças de projeto durante a fase de construção;
- Minimizar o desperdício e os atrasos durante a fase de construção;

- Melhorar o planeamento para coordenar subempreiteiros e fornecedores de materiais;
- Otimizar a comunicação nas fases de projeto e de construção. Os modelos BIM permitem a criação de cadernos de encargos e desenhos que podem ser usados para a identificação de conflitos antes da fase de construção;
- Gerar desenhos e modelos 3D precisos para uma futura gestão de instalações;
- Melhorar a segurança pública, restringindo os riscos de desastre.

Quando aplicado à fase de manutenção, os sistemas MEP adquirem um papel preponderante e o controlo dos mesmos é obrigatório. A integração da informação do modelo BIM permite um maior controlo sobre os gastos dos edifícios. Um verdadeiro modelo BIM é aquele que engloba todo o ciclo de vida do edifício.

2.3 Pré-Fabricação e Construção Modular

Na atualidade, os processos construtivos utilizados, ao longo da concepção dos elementos de construção, já contemplam a Pré-Fabricação de componentes ou subelementos, acelerando o tempo de execução das tarefas. No contexto da presente dissertação torna-se importante definir Pré-Fabricação aplicada à construção, como o conjunto de procedimentos e tarefas que permitem o fabrico de componentes básicos ou parciais, fora do local principal de construção, com um número definido de unidades, para posterior integração na construção. Do ponto de vista industrial, a Pré-Fabricação está associada ao conceito de standardização, um processo de produção que permite a produção em massa de objetos ou componentes de uma forma otimizada e com a redução efetiva de desperdícios associados à produção [5]. Internacionalmente, reconhece-se que a industrialização do setor da construção tem um potencial relevante e os seus processos devem ser atualizados e adaptados aos novos conceitos e evoluções tecnológicas. Para alguns autores, a industrialização define-se como sendo o somatório de racionalizar, mecanizar e automatizar (Figura 8) [9].

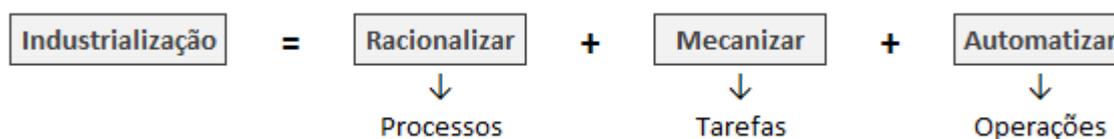


Figura 8 – Parâmetros da Industrialização, adaptado de [9].

A Pré-Fabricação é um método construtivo alternativo ao tradicional. Trata-se de uma forma de construção segura, económica, durável, sustentável e arquitetonicamente versátil. É uma forma industrializada de construção com diversas vantagens, uma vez que permite incorporar, de forma mais rápida, económica e adequada a inovação em materiais, sistemas e processos. A produção em fábrica permite processos de fabrico racionais e eficientes, controlo de qualidade, trabalhadores qualificados, repartição de tarefas e menor custo de obra por m², face à automação do processo de produção [32]. A Figura 9 reflete a atualidade da indústria da construção, onde se verifica, num horizonte temporal, a migração da execução de tarefas de construção em obra ou estaleiro para fábrica ou locais específicos de produção [33].

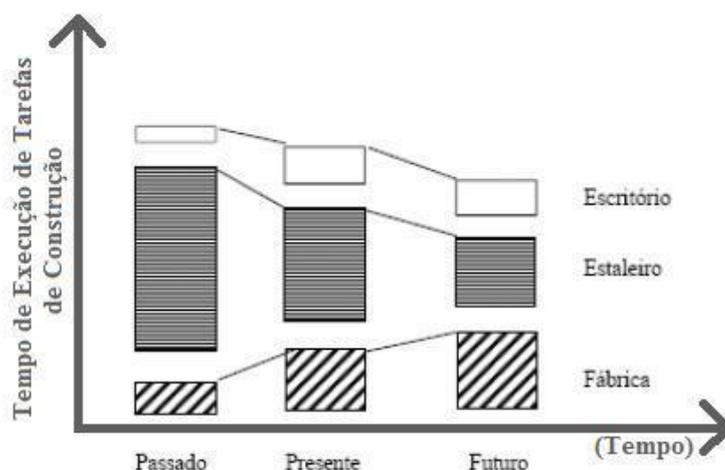


Figura 9 – Repartição dos processos e tarefas na concepção de edifícios, adaptado de [33].

Para além do conceito de Pré-Fabricação aplicada à construção, os conceitos de “Modularização”, “Módulo” e “PPMOF” devem ser explorados, assim [34], [35]:

- Modularização - Método de construção que utiliza secções tridimensionais pré-fabricadas, em ambiente fabril, que posteriormente são transportadas para o local de construção para montagem final;
- Módulo – Grupo de componentes ou elementos pré-fabricados, que realizam uma ou mais funções e que possuem interfaces estandardizadas para outros componentes ou elementos. Geralmente, é a maior unidade de uma instalação a ser transportada.
- PPMOF (do inglês “*Prefabrication, Preassembly, Modularization and Offsite Fabrication*”) – Várias técnicas de fabricação e instalação, que requerem muitas atividades de fabricação e instalação desde o local da fábrica (ambiente mais seguro e eficiente) até ao local de implantação em obra.

O pináculo da Pré-Fabricação dá-se quando sistemas completos são totalmente produzidos em fábrica e posteriormente transportados e aplicados em obra. Contudo, deve-se ter a consciência que a Pré-Fabricação está limitada a diversos fatores, sendo dos mais preponderantes a localização da obra e os acessos, para que não ocorra nenhum inconveniente durante a transportação e instalação dos módulos.

O uso da Pré-Fabricação para uma construção de edifícios mais rápida e eficiente é um dos tópicos mais estudados na indústria da construção, a nível mundial. A utilização de

ferramentas BIM providencia a oportunidade de coordenar diferentes equipas de trabalho para um Pré-Fabricação mais eficaz.

Todavia, alguns estudos sugerem que a Pré-Fabricação também potencia o aumento dos custos e da duração do projeto, devido ao elevado grau de produção, transporte e instalação, para além das dificuldades de implementação, especialmente quando os detalhes da Pré-Fabricação não se encontram explanados no projeto ou quando os operados não estão familiarizados com os processos de produção. Este método de construção requer um alto nível de coordenação entre equipas, o que poderá não ser economicamente viável [36], [37]. Em 2017, num estudo levado a cabo por Hoover *et al*, afirma-se que mais de 50% de empresas de construção reportaram que a Pré-Fabricação é ineficiente [38].

Apesar das contrariedades que as técnicas PPMOF aparentam, é visível que o principal problema da sua implementação explica-se pela inércia à mudança de mentalidade e de modelo de produção [39]. Erradamente, o preço de um módulo ainda é o critério principal para a tomada de decisões, o que inibe a utilização do PPMOF. Deve-se ter em conta o valor global, pois o seu uso estimula: a rápida instalação em obra, a redução de acidentes de trabalho, a diminuição de desperdícios de material e a melhoria do controlo de qualidade [40]. Para além disso, comparativamente ao método de construção convencional, a Pré-Fabricação possibilita [37]:

- Minimizar o tempo despendido em atividades que não acrescentam valor ao projeto final, por exemplo, o tempo que os trabalhadores demoram a movimentarem-se de um lado para o outro;
- Eliminar a transmissão de ferramentas de trabalho de um sítio para outro, uma vez que já se encontram organizadas em cada posto de trabalho na fábrica;
- Diminuir as interferências espaciais causadas por operadores de diferentes especialidades que trabalham e se movimentam em simultâneo no mesmo espaço;

A Figura 10 apresenta as fases pelas quais cada método de construção passa. Verifica-se que, na Pré-Fabricação, há um maior investimento de tempo e recursos humanos [37].

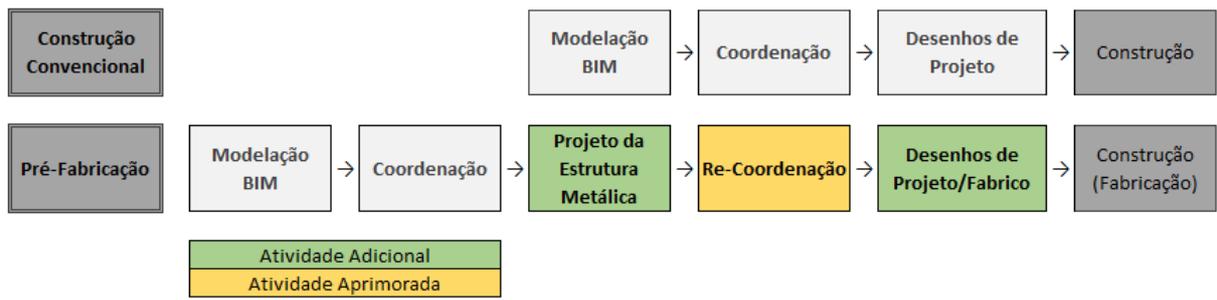


Figura 10 – Comparação dos processos de projeto e coordenação dos métodos de construção tradicional e Pré-Fabricação. Adaptado de [37].

2.4 Multi Trade Prefabrication - Módulos MEP

2.4.1 Multi Trade Prefabrication

As técnicas de Pré-Fabricação usuais focam-se na produção de componentes singulares, como produtos pré-fabricados de betão, painéis *sandwich* de fachada e frames de janelas. Atualmente, há uma procura na implementação destas técnicas em MTP (*Multi Trade Prefabrication*), onde componentes de sistemas distintos são pré-fabricados e implementados num mesmo módulo. Entre os melhores exemplos da aplicação das MTP, e também dos mais antigos, encontram-se os módulos de casas de banho, que incluem os sistemas MEP, azulejos, acabamentos internos e instalação de portas [36], [37].

Os edifícios mais recentes tendem a incorporar sistemas MEP mais densos e complexos, levando a que a adoção de técnicas de Pré-Fabricação seja necessária. Recentemente, as MTP têm vindo a ser aplicadas na criação de módulos dos sistemas MEP em corredores de grandes edifícios. Estes módulos também serão denominados por *racks* ao longo do presente documento.

Comparativamente ao método de construção tradicional dos sistemas MEP, a integração das técnicas em MTP tem a vantagem de permitir que diferentes tarefas sejam realizadas em paralelo. Tradicionalmente, as instalações mecânicas, hidráulicas e elétricas só são incorporadas no edifício assim que este tenha a sua arquitetura concluída. Com a utilização de metodologias de construção como a Pré-Fabricação, os sistemas MEP são desenvolvidos em fábrica e acoplados em *racks*, que apenas carecem de transporte e implementação em obra.

A Figura 11 compara as fases de construção entre o método de construção convencional e a Pré-Fabricação, em sistemas MEP [37]. O tempo de trabalho MEP ($a + b + c + d$) pode ser sobreposto com o tempo de cura do betão, admitindo ambas as atividades cessem ao mesmo tempo. Assim, os *racks* podem ser montados logo após a cura do betão, minimizando a duração total de obra.

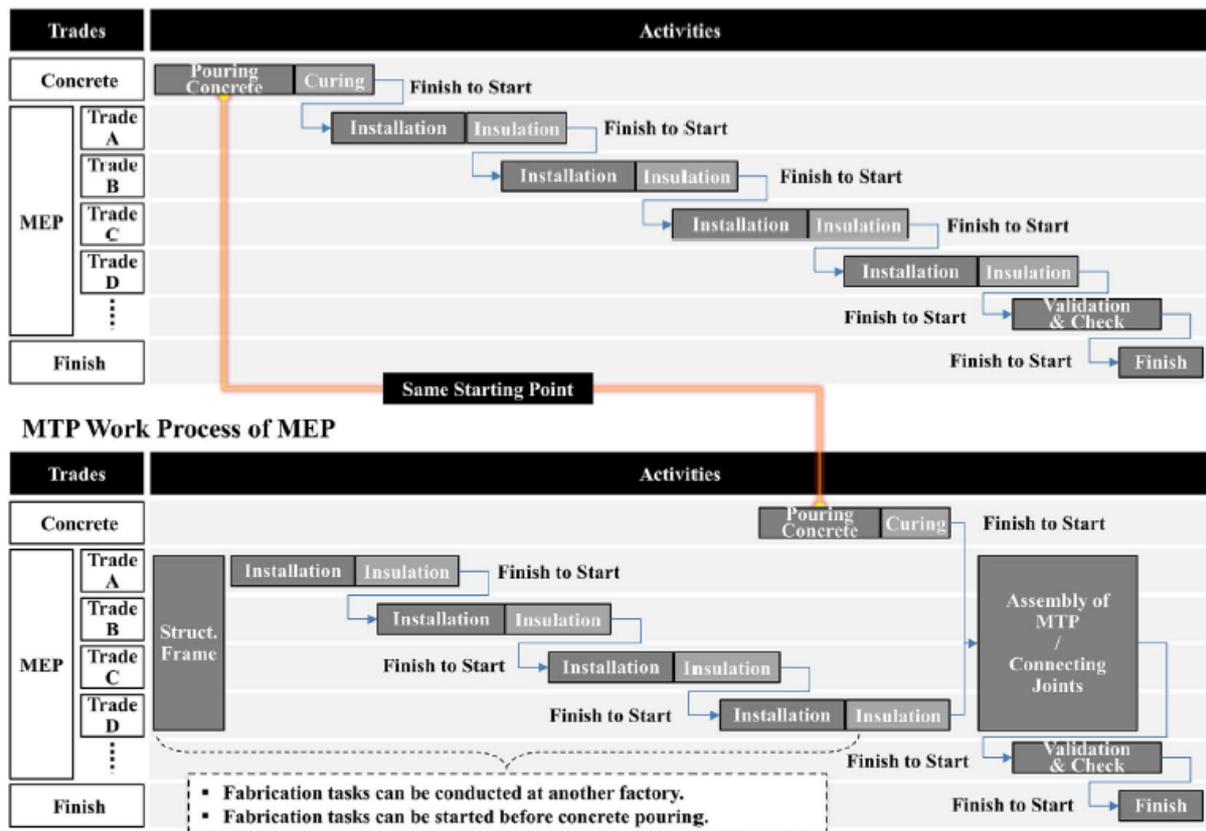


Figura 11 – Comparação dos processos de construção e montagem dos métodos de construção tradicional e Pré-Fabricação. Adaptado de [37].

Jang e Lee [37], num estudo efetuado em 2018, chegaram à conclusão que a Pré-Fabricação apesar das inúmeras vantagens organizacionais, possui muitas desvantagens económicas. Assim, de modo a avaliar o custo-benefício da integração das técnicas de MTP num dado projeto, apresentaram a equação 1, onde o denominador representa o custo total de obra, quando o método convencional é utilizado, e o numerador o custo total com recurso às técnicas de Pré-Fabricação. A integração das MTP será economicamente benéfica se o rácio de custo-benefício for superior a um.

$$\text{Rácio Custo – Benefício} = \frac{(MC_O - MC_p) + (LC_O - LC_p) + (IC + SC)}{(MC_F + LC_F) + (DC_p) + (TC + RC)} \quad (1) \quad [37]$$

Onde,

MC_O – Custo de material em obra (comprado em cada projeto);

MC_p – Custo de material em fábrica esperado (comprado em grandes volumes);

LC_O – Custo de mão de obra no local de obra;

LC_P – Custo de mão de obra em fábrica esperado;
 IC – Incentivo de custo do cliente para a redução do cronograma;
 SC – Benefícios de custos adicionais por se minimizar a supervisão em obra;
 MC_F – Custo de material adicional para a estrutura dos *racks*;
 LC_F – Custo adicional na montagem dos *racks*;
 DC_P – Custo de projeto para a Pré-Fabricação;
 TC – Custo de transporte dos *racks*;
 RC – Custos adicionais nas operações em fábrica, como rendas de espaços.

2.4.2 Estrutura do *Rack* MEP

Os *racks* tratam-se de módulos que abrigam uma parte dos complexos sistemas mecânicos, elétricos e de águas do corredor. A coordenação, a fabricação e a montagem são tarefas bastante mais desafiantes neste tipo de módulos, comparativamente aos simples componentes em que as técnicas MTP são empregues, como as casas de banho, face à elevada densidade dos sistemas MEP [37], [41].

Tipicamente, estes módulos MEP pré-fabricados são secções tridimensionais de estrutura metálica, que tem as funções de suporte a todos os elementos dos sistemas MEP (como tubagens, condutas e caminhos de cabos) e de fixação (teto ou parede do piso), como se verifica na Figura 12. Uma das grandes vantagens da utilização de *racks* de corredor é a versatilidade, pois conseguem ser empregues em hotéis, centros comerciais e hospitais com apenas algumas alterações ajustáveis a cada projeto.

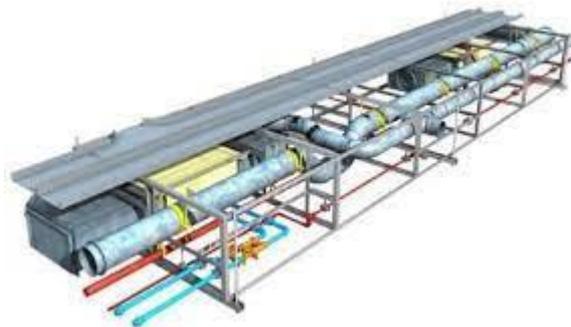


Figura 12 – *Rack* de um corredor, albergando vários elementos dos sistemas MEP.

Alguns estudos indicam que, aproximadamente, 10% do retrabalho efetuado em obra é relativo a defeitos de qualidade e o retrabalho durante a instalação dos sistemas MEP é de 20%. Assim, a utilização de *racks* pré-fabricados contribui para a diminuição deste problema.

Contudo, o facto de se tratarem de elementos modulares pré-fabricados, não invalida que o erro esteja presente. Os principais problemas deste tipo de módulos são a incorreta seleção do tipo de elementos e a sua má disposição, que prejudicam a conexão entre módulos. Uma vez que os defeitos dos *racks* não são fáceis de se resolverem em contexto de obra, a inspeção da sua qualidade geométrica durante a sua Pré-Fabricação torna-se crítica e essencial [41].

Quanto à disposição dos elementos do módulo, esta deve ser efetuada com princípios básicos de boas práticas de construção. A sequência de montagem do *rack* recai nos mesmos princípios da coordenação MEP, ou seja, primeiramente, com a estrutura metálica criada, são colocados os elementos mais volumosos e que menores manutenções necessitem, como as condutas; posteriormente, posicionam-se as tubagens ao longo do *rack*, com as picagens a serem efetuadas em simultâneo; por fim, estende-se a esteira de cabos.

A criação de módulos MEP exige um dimensionamento criterioso, pois deve ser efetuado tendo em consideração aspetos de transporte, implementação e manutenção em obra e conectividade com os módulos adjacentes. Atualmente, existem vários *softwares* capazes de sistematizar a criação dos *racks*, servindo-se dos modelos MEP do projeto para tal. Um dos *softwares* que tem revolucionado a indústria da construção é o *eVolveMEP*, que auxilia as equipas de projeto MEP a automatizar os seus fluxos de trabalho, facilita a Pré-Fabricação e a fabricação de materiais, promove a produtividade e melhora a qualidade. Com recurso ao *eVolveMEP*, existe a capacidade de dividir os componentes dos projetos mecânicos, elétricos e de águas em vários módulos automaticamente, com os devidos acessórios de fixação e dimensões normalizadas, e com orientações para a sua fabricação.

3. CASO DE ESTUDO – DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DE CORREDOR

3.1 Enquadramento

A integração de metodologias BIM contribuiu para o aumento da produtividade do processo construtivo atual, mas para que as suas vantagens sejam extorquidas em toda a sua plenitude, é essencial a adaptação a esta nova forma de trabalho e mudanças de mentalidade no ceio das construtoras. A implementação BIM no Grupo CASAIS tem sido comprovadamente um exemplo de alavancagem na melhoria dos processos com impacto direto na redução de prazos, mitigação de incompatibilidades em fase de obra e evolução tecnológica.

Por forma a evoluir na sua capacidade e valências BIM, a construtora multinacional, por meio do Departamento Técnico, aumentou o núcleo de Pré-Construção.

A Pré-Construção, com recurso às técnicas de *Multi Trade Prefabrication*, assume um papel crucial na industrialização da construção, uma vez que permite o desenvolvimento de diferentes atividades em simultâneo e possibilita a sistematização de tarefas comuns a diferentes projetos de construção, conduzindo à redução do tempo total de trabalho.

3.1.1 Objetivos estabelecidos

Este caso de estudo surge com o intuito de aprimorar a Pré-Construção Modular direcionada para os sistemas MEP, com o estabelecimento de alguns princípios para a criação de *racks* MEP, apresentando uma cartilha de boas práticas de disposição e montagem dos diversos constituintes mecânicos, elétricos e de águas. Para a utilização de módulos prefabricados, dever-se-á, primeiramente, identificar as áreas suscetíveis à sua implementação. A adoção de prefabricação MEP em zonas críticas, com elevado grau de densidade em termos de serviços MEP, promove um aumento da produtividade.

Assim sendo, tem-se como objetivo o contributo para o desenvolvimento e implementação da Pré-fabricação como metodologia de construção, no que aos sistemas MEP diz respeito, recorrendo a princípios BIM.

3.2 Descrição dos *softwares* utilizados e o objetivo da sua utilização

3.2.1 Autodesk Revit 2021

O *software* é essencialmente utilizado em projeto. Foi particularmente desenvolvido para o uso em projetos BIM e disponibiliza funcionalidades para projeto de arquitetura, MEP e engenharia de estruturas e construção. Sendo um programa de metodologia BIM, permite a colaboração eficaz entre os diversos intervenientes do projeto, privilegiando a comunicação. A utilização do *Autodesk Revit* foi crucial para a modelação paramétrica, isto é, em contexto de Pré-Fabricação, utilizaram-se modelos cuja geometria pudesse ser definida com recurso a parâmetros relativos, conseguindo ser partilhados por mais do que um elemento. Este conceito de modelação permite que em qualquer momento os dados de cada elemento possam ser alterados ou modificados, sem que haja a necessidade de repetir os passos de modelação realizados inicialmente, reduzindo o tempo total de modelação.

Uma vez que se pretendia alcançar um grau de rigor e de grande proximidade entre a informação modelada e o que virá a ser executado em obra, para garantir a fiabilidade geométrica dos elementos, estabeleceu-se como escolha primordial que as famílias dos produtos prescritos deveriam provir diretamente dos fabricantes. Só na impossibilidade da sua utilização é que se recorreu à criação de famílias.

Nos casos de estudo, foram utilizados vários objetos paramétricos de diversas bibliotecas, tendo os mesmos sido retirados gratuitamente de sítios como o *BIMmarket*, o *BIMobject*, o *MEPcontent*, o *BIM&CO*, o *MagiCAD* e o *Bimothèque*.

O módulo do corredor foi desenvolvido de forma iterativa, tendo-se servido das vantagens da modelação paramétrica por forma a direcionar o modelo para o processo de produção, sistematizando as tarefas principais como listagens de material e orientações para montagem do módulo MEP.

3.2.2 Autodesk DWG TrueView 2020

O *Autodesk DWG TrueView* permite abrir, visualizar e acoplar ficheiros *AutoCAD*, *DWG* e *DXF*. No contexto de estudo, utilizou-se o programa para retirar do projeto das especialidades MEP os sistemas que se encontravam presentes no local de estudo, bem como as dimensões dos elementos utilizados.

3.2.3 Microsoft Excel 2020

O *Excel* é um programa com funções de análise e cálculo de dados. Neste caso de estudo, não era um *software* que se previa utilizar, contudo numa fase mais avançada do estudo teve um papel importante para criação de estatísticas bem como para a manipulação de dados extraídos do *Revit*.

3.2.4 Outros *softwares*

Todo o estudo foi efetuado de uma forma manual, o que levou a que as interferências entre os sistemas MEP fossem minuciosamente retificadas a “olho nu”, tal como toda a estrutura do *rack*.

Para a coordenação de projetos, análise de interferências e resolução de conflitos entre diferentes especialidades, recorreu-se ao *BIM 360*.

3.3 B&B Hotel Porto Gaia

3.3.1 Caracterização do empreendimento

O empreendimento trata-se de um complexo destinado à habitação, pertencente ao Grupo B&B Hotels e que tem como principal investidor e responsável pela construção o Grupo CASAIS. O B&B Hotel Porto Gaia, que conta com o trabalho colaborativo entre as equipas de projeto do Grupo Casais e do Arq. M. Fernando Rocha (URBIS), é uma unidade hoteleira cuja área total de construção é de 12782,70 m². O edifício apresenta 11 pisos, 210 quartos e capacidade para 439 camas (Figura 13).



Figura 13 – Render do edifício B&B Hotel Porto Gaia.

3.3.2 Descrição do projeto

Com auxílio de plataforma BIM, procura-se criar um *rack* capaz de suportar todos os diferentes componentes MEP, englobando as instalações mecânicas, elétricas, as tubulações hidráulicas e todos os seus suportes, numa zona crítica do corredor de hotel. O objetivo passa por padronizar e sistematizar uma das zonas mais complexas do edifício, bem como reduzir o tempo despendido em obra e os custos associados.

A zona do corredor em estudo foi selecionada por apresentar uma elevada densidade de sistemas MEP, dado tratar-se do local onde ocorre a aglomeração das condutas de extração e insuflação de ar do piso 2, acrescentando os restantes componentes dos sistemas elétrico e de águas (secção assinalada a vermelho na Figura 14). Esta modularização de uma das zonas mais críticas do corredor permite que, futuramente, a mesma estrutura do *rack* seja facilmente ajustável a zonas mais simples.

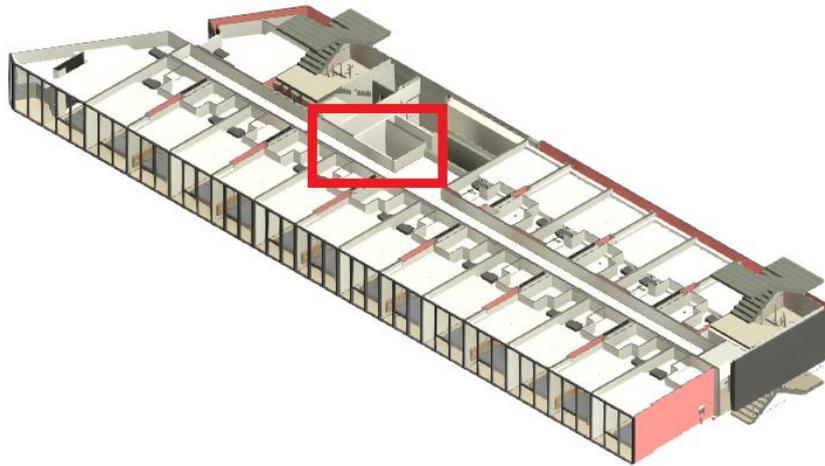


Figura 14 – Piso 2 do B&B Hotel Porto Gaia. A secção assinalada a vermelho é a que foi alvo de estudo.

3.3.3 Dimensionamento do módulo

Com base nos projetos/modelos de Arquitetura e Estruturas e pela junção dos seus submodelos, verificou-se que a disposição dos sistemas MEP seria sobre o teto falso do Piso 2. Para além de suportar os elementos das especialidades, o módulo deve ainda sustentar o teto falso. A plataforma de modelação selecionada para o estudo aqui apresentado foi o Revit 2020.

Como se observa na Figura 15, o espaço reservado para os sistemas MEP no corredor tem uma largura e altura de, aproximadamente, 1400 mm e 805 mm, respetivamente, sendo que à altura especificada na imagem deve ser retirada a espessura do teto falso, que é de 12,5 mm e o comprimento dos elementos de fixação do teto falso (que não devem exceder os 50 mm). Assim, para o dimensionamento do módulo, este deverá ter uma largura inferior a 1400 mm e uma altura compreendida entre os 742,5 mm e os 792,5 mm, consoante o tipo de fixação do teto falso.

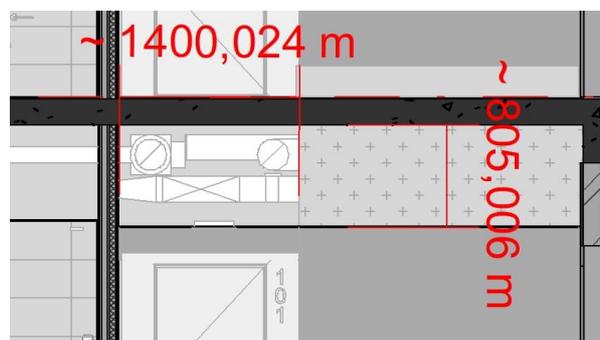


Figura 15 – Cotas do espaço direcionado para a disposição dos sistemas MEP.

O *rack* é composto por todos os elementos relativos a cada uma das instalações. Na Figura 16 encontram-se os sistemas MEP do B&B Hotel Porto Gaia. No que concerne às instalações elétricas, é necessário incorporar no módulo prefabricado os caminhos de cabos (esteira) que suportem toda a cabelagem, bem como os seus acessórios; as instalações hidráulicas dizem respeito ao abastecimento de água quente, água fria e retorno como também ao abastecimento de água contra incêndios, com recurso à coluna húmida para os *sprinklers* e coluna seca. Assim, torna-se fulcral a disposição assertiva de todas as tubagens; as instalações mecânicas, referentes à insuflação e à extração de ar e à rede frigorígena, ocupam grande parte do volume do *rack*, pelo que o mau posicionamento das condutas e caminhos de cobre impossibilitará a incorporação dos restantes componentes no módulo.

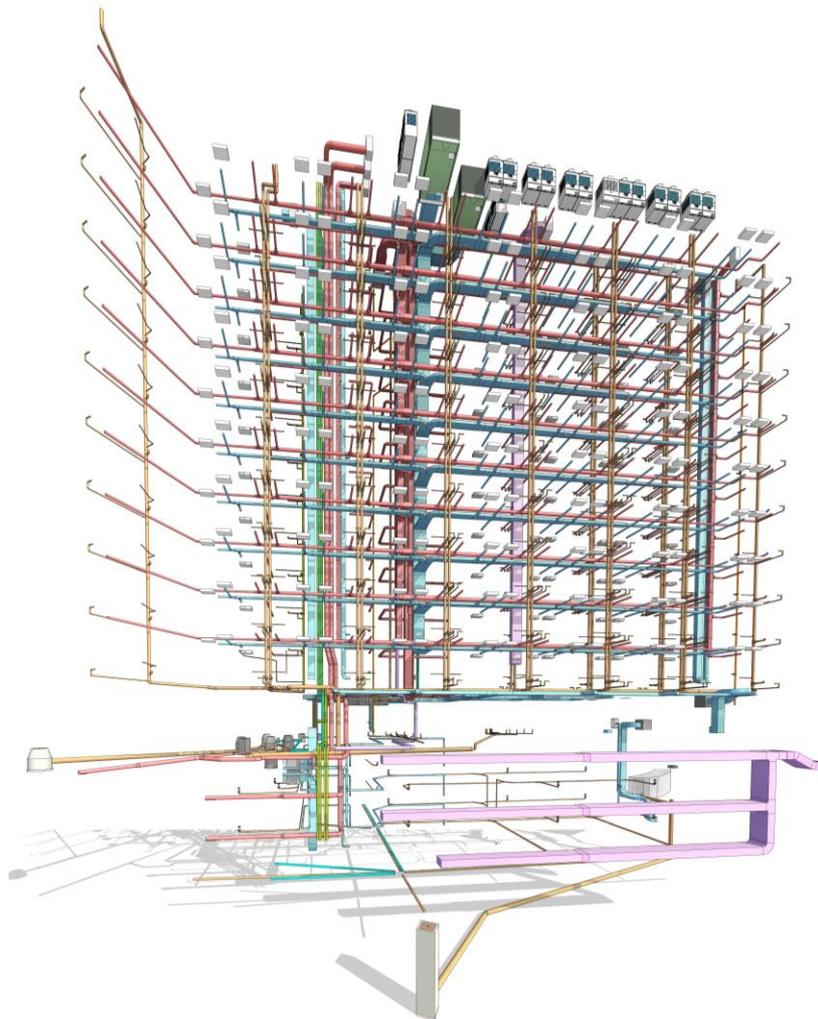


Figura 16 – Sistemas MEP do B&B Hotel Porto Gaia.

3.3.4 Disposição dos constituintes de cada instalação

- Sistema Mecânico

Para a criação do módulo, foram fornecidos o projeto MEP do Piso 2 do edifício em formato *dwg*, tendo sido visualizado em ambiente *Autodesk TrueView*, e um modelo 3D (*Autodesk Revit*) pré-concebido parcial das instalações mecânicas do edifício, onde se encontravam modeladas as condutas de extração e insuflação de ar. A Figura 17 apresenta o sistema de ventilação mecânica no local do corredor em análise, onde as condutas vermelhas representam a extração de ar e as azuis a insuflação. Este modelo 3D serviu de base para a criação do *rack*.

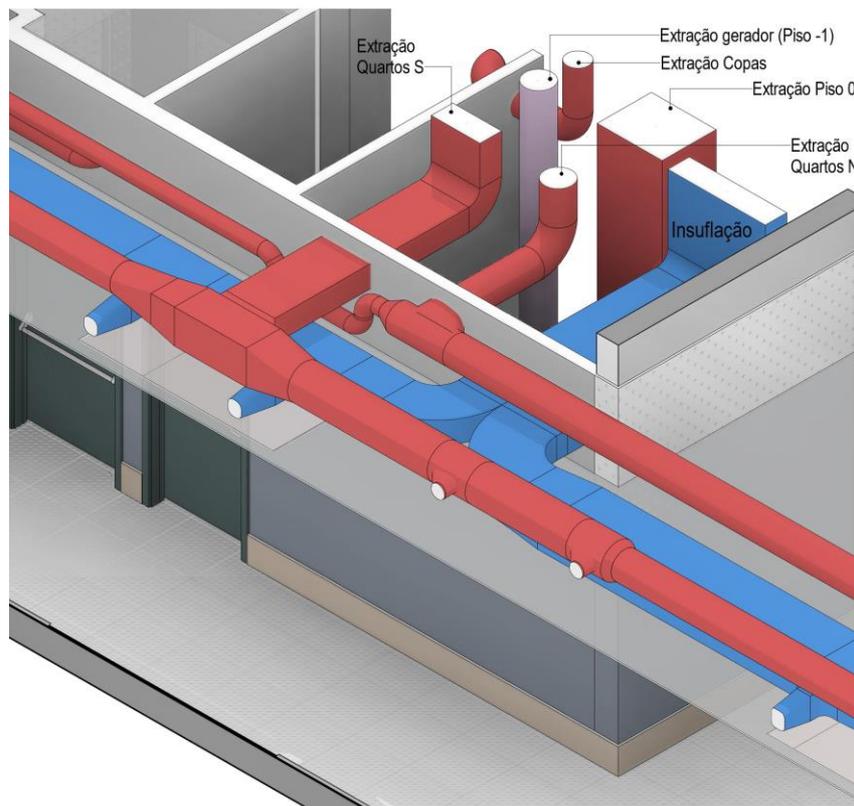


Figura 17 – Sistema de ventilação mecânica da zona em estudo do corredor.

O módulo deve ser compacto e simultaneamente espaçoso, para que todos os componentes integrantes sejam colocados com relativa facilidade. Com efeito, houve a necessidade de alterar o tipo de condutas utilizado. A densidade do sistema de ventilação na zona crítica é elevada, e a disposição pré-concebida das condutas nessa região deixava muito espaço entre as mesmas, uma vez que o projeto inicial não contemplava o uso da Pré-Fabricação. Por forma a perceber se o arranjo era ajustável, criou-se um módulo cuja dimensão era de 1200x750

mm, como se observa na Figura 18. A olho nu, rapidamente se entende que a utilização de condutas de secção circular e dispostas de tal forma é inviável, dado que ao *rack* ainda devem ser adicionados os elementos dos sistemas elétrico e de águas.

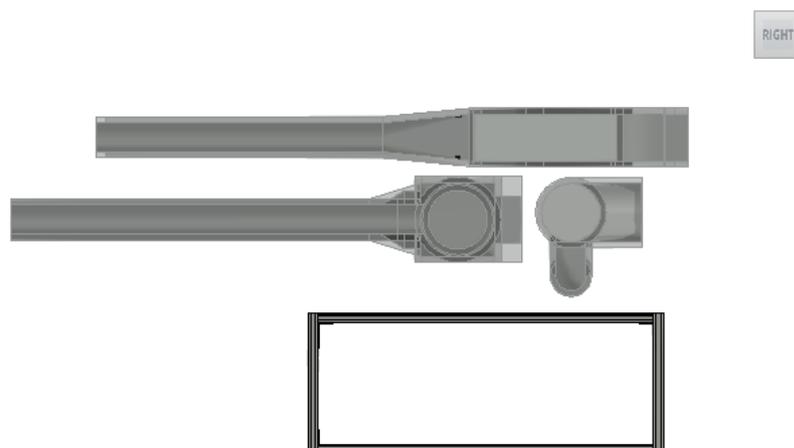


Figura 18 – Sistema de ventilação mecânica modificado da zona em estudo do corredor.

Como se verifica nas Figura 17 e Figura 18, a extração de ar dá-se por condutas de secção circular de diversos diâmetros. Ora, para além de ocuparem um espaço superior às de secção retangular, acartam a problemática da sua fixação, que necessita de mais componentes para ser efetuada. Deste modo, procedeu-se à alteração da configuração deste tipo de condutas para as de secção retangular, de acordo com Tabela 3.

Tabela 3 – Conversão de conduta de secção circular para conduta de secção retangular.

| Caudal (m ³ /h) | Secção Circular (mm) | Secção Retangular (mm) |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 300 | Ø 200 | 200x100 |
| 360 | Ø 250 | 200x100 |
| 420 | Ø 250 | 200x150 |
| 480 | Ø 250 | 200x150 |
| 540 | Ø 250 | 200x150 |

Com a alteração do tipo de secção da conduta, reorganizou-se a disposição das condutas, tendo-se colocado as responsáveis pela extração de ar sobre as condutas de insuflação,

economizando espaço. Esta tarefa originou interferências físicas, que foram manualmente corrigidas, obtendo-se a disposição presente na Figura 19.

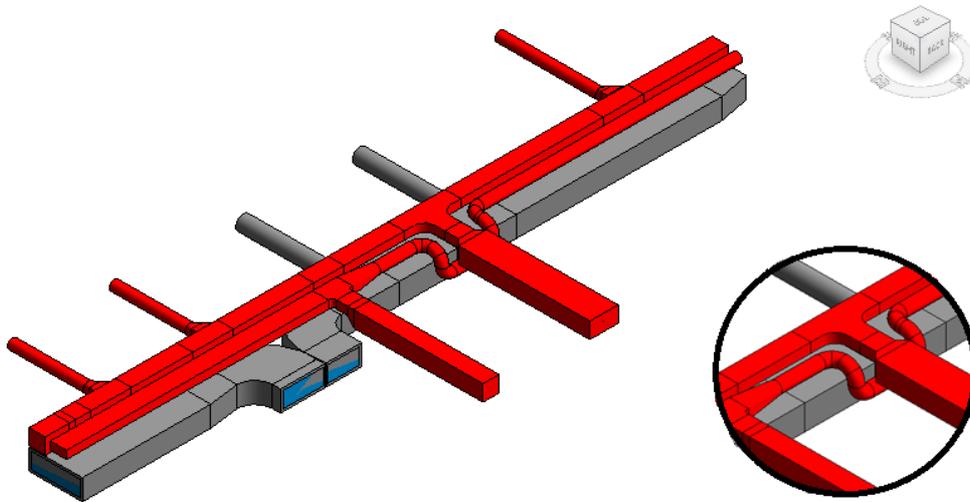


Figura 19 – Sistema de ventilação mecânica modificado da zona em estudo do corredor. Na pormenorização encontra-se um dos trabalhos manuais realizados por meio a dar resposta a uma das muitas interferências suscitadas.

Por se tratar dos elementos mais volumosos do *rack* e pela sua reduzida necessidade de manutenção, como referido anteriormente no presente documento, as condutas do sistema de ventilação são afixadas na parte superior do módulo. Uma vez que são seguradas ao *frame* superior do módulo, modificou-se o tipo de redução/transformação, peça esta que faz a transição entre condutas cujo tamanho de secção é diferente, por meio a ter o topo superior das condutas reto, facilitando a sua implementação, como se nota na Figura 20.

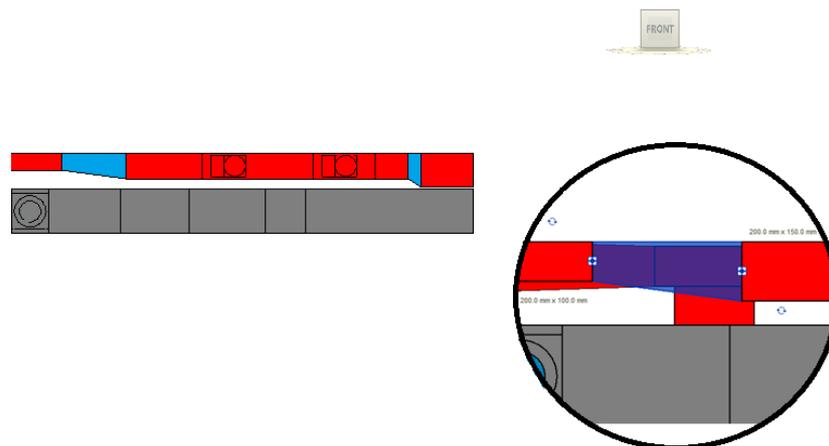


Figura 20 – Sistema de ventilação mecânica modificado da zona em estudo do corredor, com a peça de transição a ser plana na parte superior, permitindo o maior ajuste das condutas ao *frame* cimeiro do módulo.

Ainda dentro do sistema mecânico, encontra-se a rede frigorígena (sistema de climatização), que se trata de uma tubulação metálica protegida por uma espuma de polietileno, que permite o funcionamento adequado e eficiente do sistema de ar condicionado. Na Figura 21 é possível verificar o caminho que a rede frigorígena percorre na zona de estudo. A instalação desta tubulação é única, sendo que depois de instalada jamais poderá ser alterada. Com efeito, para a integração destes elementos no módulo, primeiro procedeu-se à instalação do sistema de águas, para ter a perceção do espaço resultante para aplicação da rede frigorígena.

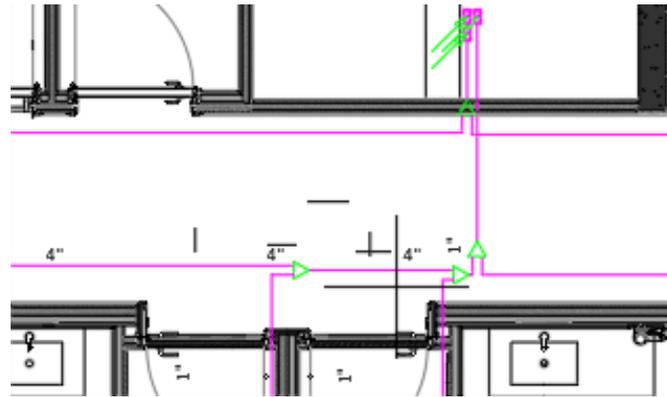


Figura 21 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontram esquematizadas as tubagens de água quente (traçado interrompido vermelho), água fria (traçado interrompido azul) e retorno de água quente (traçado interrompido amarelo).

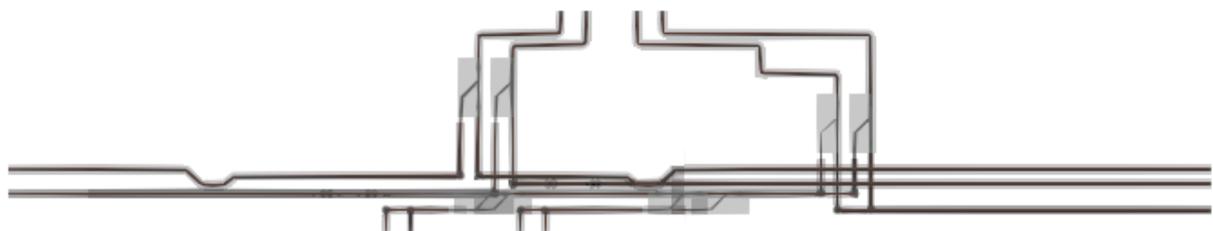


Figura 22 – Rede frigorígena do módulo. Autodesk Revit 2020.

- Sistema de Águas

O sistema de águas engloba o abastecimento de água quente, água fria e retorno de água quente como também o abastecimento de água contra incêndios, com recurso à coluna húmida para os *sprinklers* e coluna seca. Por se tratar de um sistema que necessita de uma inspeção periódica, são colocados na parte inferior do módulo, facilitando o seu manuseamento e montagem. Nas Figura 23 e Figura 24 encontram-se, respetivamente, as plantas do Piso 2, no local de alvo de estudo, da rede de abastecimento de água e de abastecimento de água contra incêndios.

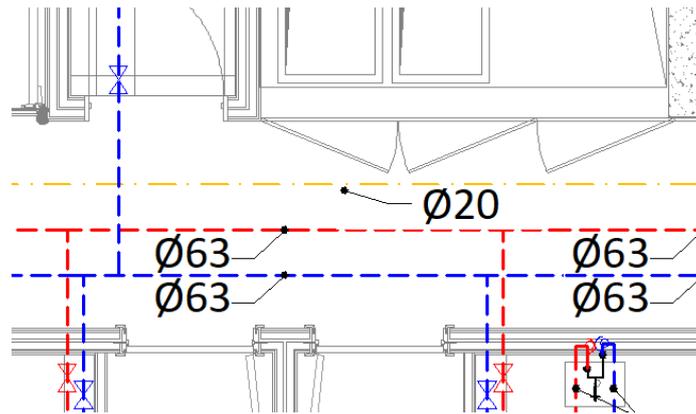


Figura 23 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontram esquematizadas as tubagens de água quente (traçado interrompido vermelho), água fria (traçado interrompido azul) e retorno de água quente (traçado interrompido amarelo).

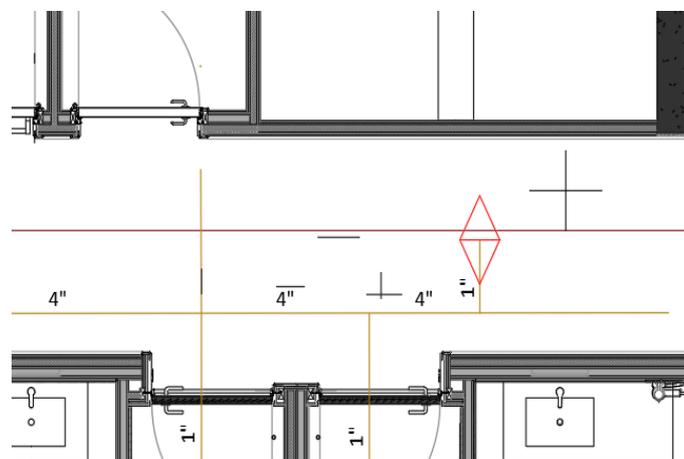


Figura 24 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontra esquematizada a rede de abastecimento de água contra incêndios, com a coluna seca indicada a traço vermelho e a coluna húmida a traço amarelo.

Dado tratar-se de um *rack* MEP de corredor, há a necessidade de direcionar as tubagens para as diversas divisões, como se verifica na planta do piso. Uma vez que as tubagens estão expostas na parte inferior do módulo, a sua ramificação de forma horizontal não é possível, pois entra em colisão com as tubagens solidárias. Assim, para que a derivação se dê, recorre-se a picagens, como demonstra a Figura 25. A alocação das tubagens à parte inferior do módulo dá-se pelo facto de se tratarem de elementos mais suscetíveis de operações de manutenção e para facilitar a união entre *racks*.

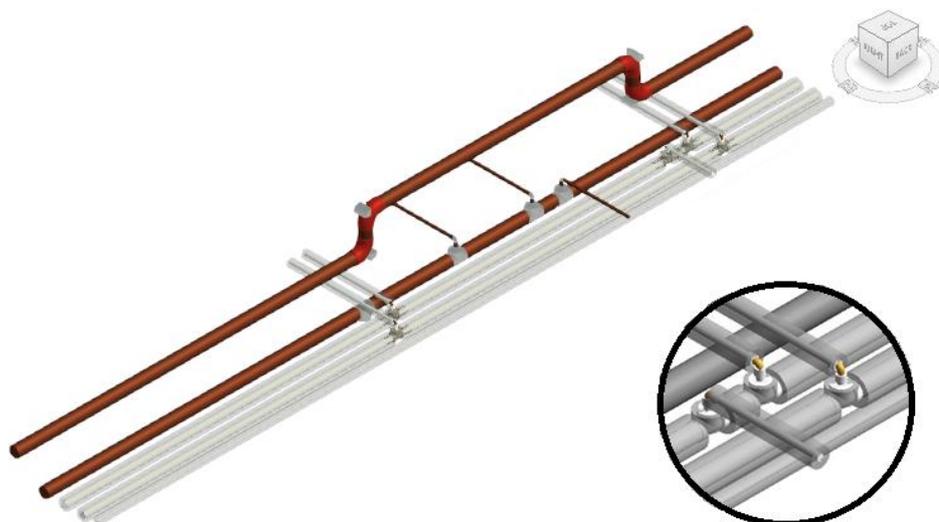


Figura 25 – Sistema de águas do módulo, com representação das várias tubagens das duas disciplinas integrantes: distribuição de água e distribuição de água contra incêndios. Na pormenorização verificam-se as picagens efetuadas, por meio a combater as interferências físicas. Autodesk Revit 2020.

No abastecimento de água contra incêndios, face há impossibilidade de dispor todas as tubagens num mesmo plano, colocou-se a coluna seca suspensa à calha superior do módulo, sofrendo um desvio por forma a evitar uma interferência física com uma das condutas de insuflação de ar, como demonstrado na Figura 26.

A modelação das tubagens foi realizada com recurso a *Revit MEP Plugins*, que são desenvolvidos por empresas especificadas e que podem ser distribuídos gratuitamente ou comercializados. Estes *plugins* apresentam bibliotecas virtuais, organizadas por funções ou especialidades, como tubagens, derivações, cotovelos, entre outros. Relativamente ao abastecimento de água quente, fria e de retorno da água quente, utilizaram-se objetos retirados do *plugin* da *Uponor*, e para a rede de abastecimento de água contra incêndios, objetos pertencentes à biblioteca da *Victaulic*.

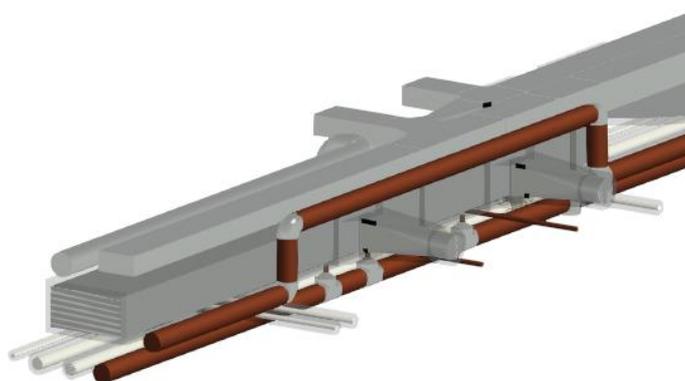


Figura 26 – Disposição da coluna seca relativa ao abastecimento de água contra incêndios, onde se verifica a alteração da cota numa determinada zona por meio a se evitar uma interferência física.

- Sistema Elétrico

O sistema elétrico do módulo trata-se do caminho de cabos, em que uma esteira porta cabos é estendida ao longo do *rack* e suporta os cabos elétricos do corredor. Na zona em estudo, existe uma derivação do caminho de cabos, pelo que há a necessidade de ajustar a esteira aos elementos já dispostos no módulo (Figura 27). A esteira de cabos deve ser colocada num local com ótimo acesso, pois é *in situ* que os cabos elétricos são passados ao longo dos módulos do corredor. Portanto, o operador terá que ter acessibilidade e espaço suficientes para manusear a cablagem e fixá-la de modo correto e seguro.

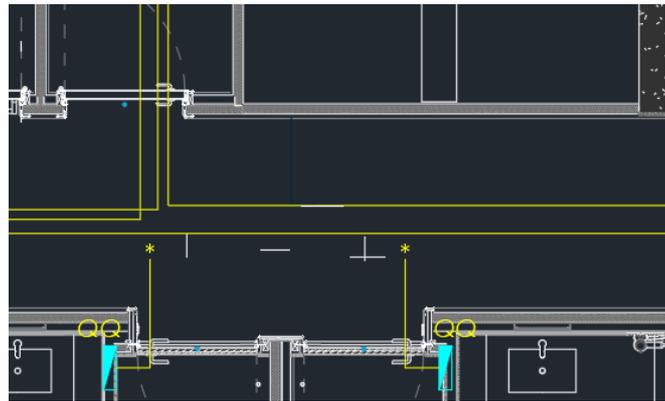


Figura 27 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontra esquematizada a rede elétrica.

No caso em análise, a ramificação do caminho de cabos dá-se com a união de um novo caminho de cabos disposto perpendicularmente a este, mas a uma altura superior, passando sobre as tubagens de abastecimento de água e sob a conduta responsável pela insuflação de ar, como se verifica na Figura 28. A posição da esteira de cabos sobre as tubagens é uma das mais importantes tarefas na montagem do *rack*, pois evita o surgimento de acidentes graves, numa eventual fuga de água.

A modelação do sistema elétrico foi realizada com recurso a objetos paramétricos da biblioteca disponível *online* da *OBO Bettermann*.

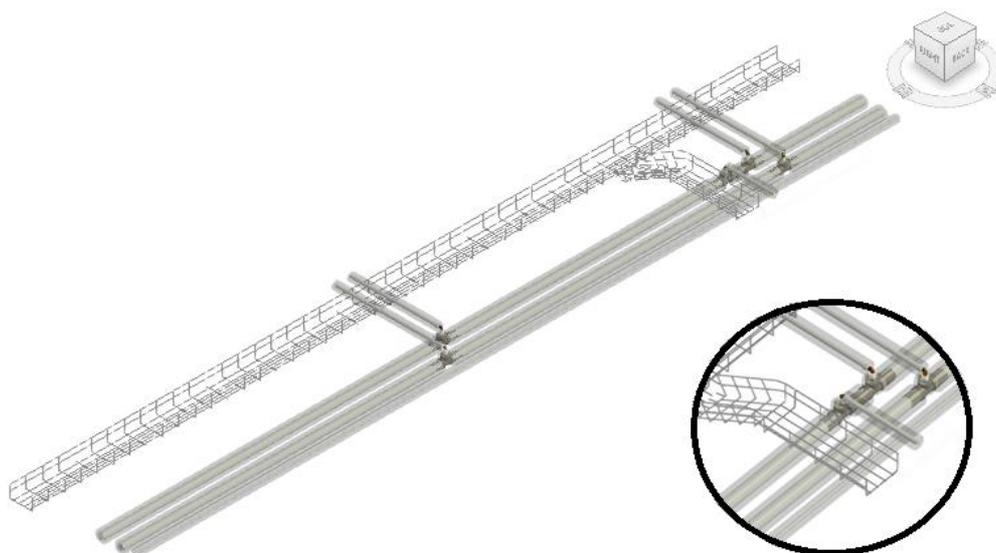


Figura 28 – Excerto da Planta do Piso 2, referente à zona de estudo, onde se encontra esquematizada a rede elétrica, com a pormenorização da esteira de cabos a passar sobre as tubagens de abastecimento de água.

Com efeito, a Figura 29 esquematiza a disposição proposta para os vários sistemas que compõe o módulo, considerando as questões de manuseio e manutenção dos mesmos ao longo do tempo. Para a organização dos componentes, no módulo MEP, o critério principal foi o espaço de trabalho que os operadores iriam ter em obra para assegurar a correta união entre *racks*.

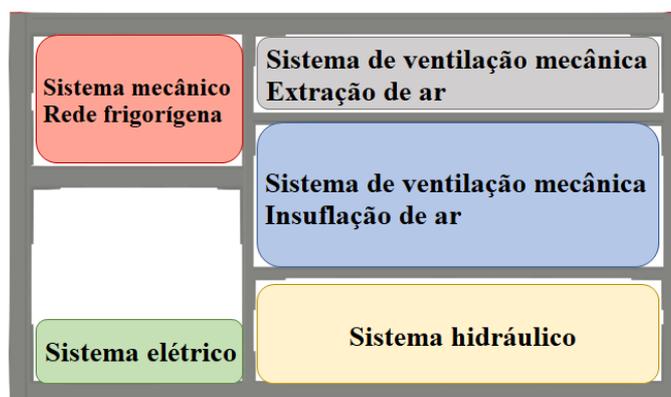


Figura 29 – Esquemática da disposição dos sistemas integrantes do módulo MEP de um corredor.

3.3.5 Construção do módulo com componentes HILTI

Na Pré-Fabricação convencional, de acordo com as especificações do projeto, são designados sistemas de suporte específicos para cada uma das disciplinas. No caso das técnicas de MTP, um mesmo suporte deve servir de apoio a diferentes elementos das várias disciplinas que incorporam o *rack*. Assim, no dimensionamento do suporte estrutural, deve-se ter em

consideração não só a fixação dos componentes como também permitir um dado espaço de trabalho para que os operadores consigam montar certos componentes e realizar operações de manutenção ao *rack*. Para a criação do módulo MEP, é fulcral a correta seleção do tipo de perfil a ser utilizado na sua estrutura.

O objetivo primordial do presente estudo assenta na industrialização de edifícios, focando na Pré-Construção e Modularização das instalações mecânicas, hidráulicas e elétricas. Assim, tendo em consideração o facto de o *rack* poder ser modificado consoante o tipo de densidade dos sistemas MEP que terá de albergar e a necessidade do processo construtivo em fábrica ser rápido, recorreu-se a perfis direccionados para a Construção Modular.

Na construção do módulo, utilizaram-se sistemas de calhas para instalação e suporte de tubagem, condutas de ventilação e esteiras para suporte de caminhos de cabos, concebidos especialmente para proporcionar maior flexibilidade e facilidade de utilização. A modelação de toda a estrutura do *rack* foi efetuada, unicamente, com recurso a objetos paramétricos disponibilizados pela HILTI.

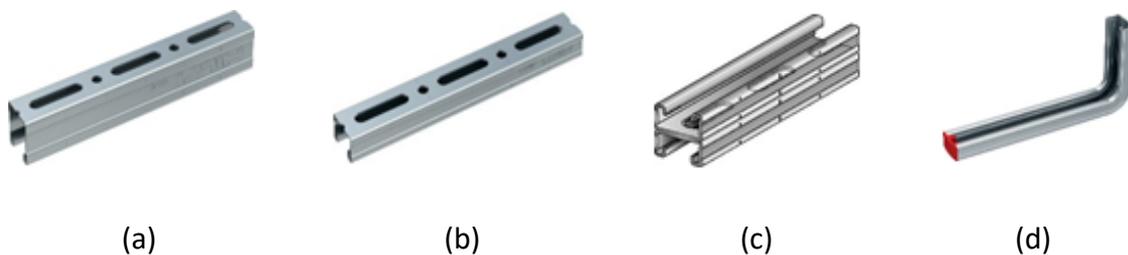


Figura 30 – Sistemas de calhas de instalação e suporte HILTI dos diversos elementos das especialidades. 27(a) MQ-41: Calha de instalação MQ com 41 mm de altura para aplicações de carga médias; 27(b) MQ-21,5: Calha de instalação MQ com 21,5 mm de altura para aplicações de carga ligeiras/médias; 27(c) MQ-21 D: Calha dupla de instalação MQ com 41 mm de altura para aplicações de cargas médias; 27(d) MQK-21-L: Braço de calha para calha de instalação MQ de 21 mm de altura para aplicações interiores de cargas médias.

Como referido na secção Dimensionamento do módulo 3.3.3, a largura do corredor é de 1400 mm e o espaço reservado sobre o teto falso para a implementação do módulo tem uma altura de 792,5 mm.

O módulo terá que ser tanto mais largo quanto possível, por forma a ter um volume interno maior, permitindo uma fixação dos componentes MEP de forma mais espaçosa.

A estrutura de suporte do *rack* tem como dimensões 750 mm de altura, 1282 mm de largura total e 6287 mm de comprimento, sendo que ainda possui uma separação interna e entre

módulos de 1000 mm. A definição do tamanho do módulo teve em consideração a implementação em obra e os comprimentos de perfil disponíveis para venda ao público.

Ora, a calha de instalação galvanizada MQ com 41 mm de altura para aplicações de cargas médias, foi a selecionada para a estrutura global do módulo (Figura 30(a)). Os perfis transversais têm 1200 mm, pelo que o somatório deste comprimento com a largura dos perfis MQ-41 perfaz um total de 1282 mm, tratando-se da largura total do *rack*. O módulo é seccionado de metro em metro, por forma a viabilizar uma boa fixação dos componentes mecânicos. Assim, uma vez que se utilizam 6 calhas de 1000 mm cada, o comprimento total do módulo é de 6287 mm ($6000 \text{ mm} + 4 \times 41 \text{ mm}$). A altura do módulo (750 mm) foi definida considerando o espaço sobre o teto falso e a largura (6287 mm) tendo em consideração o espaço de trabalho que os operadores necessitam.

Idealmente, os módulos MEP de um corredor devem ter um comprimento de acordo com a dimensão estandardizada das tubagens que este suporta. Por exemplo, as tubagens das instalações hidráulicas têm um comprimento *standard* de 5000 metros, o que levaria a que o *rack* tivesse 4 metros de comprimento, considerando que a união entre módulos adjacentes se dá com o espaçamento de 1 metro. Contudo, no caso de estudo, para o dimensionamento da estrutura do módulo, tiveram-se em conta as calhas de suporte, uma vez que os perfis MQ-41 são comercializados em comprimentos estandardizados de 2 metros, 3 metros e 6 metros. Para além disso, as tubagens presentes no *rack*, na sua maioria, têm picagens, pelo que o tubo teria que inevitavelmente ser cortado para o comprimento necessário. Outro fator preponderante para o dimensionamento do módulo ter sido efetuado considerando o comprimento de calha de suporte e não o da tubagem foi o preço, em que o do primeiro é bastante superior ao do segundo, por metro. Na Figura 31 encontra-se o módulo desenvolvido com recurso aos componentes HILTI.

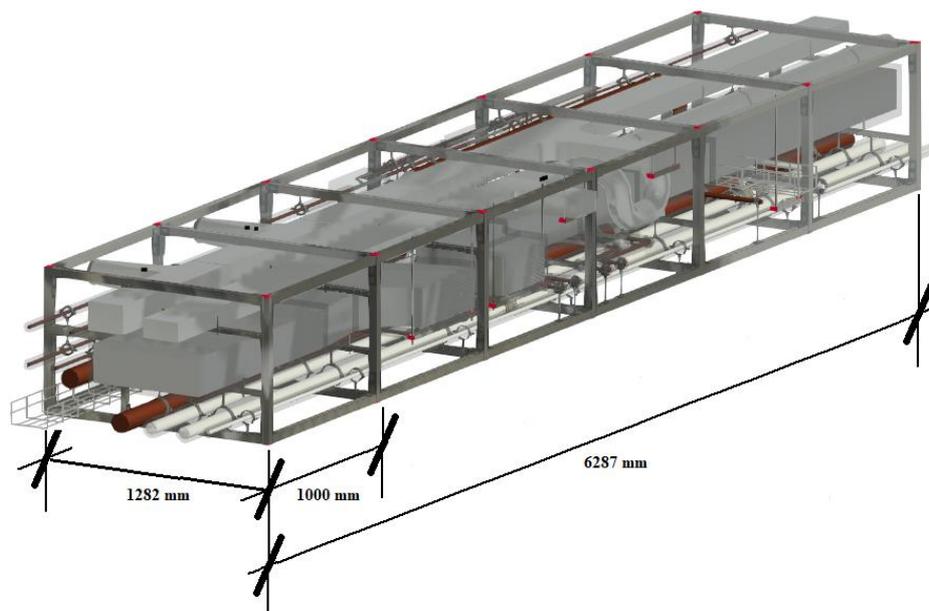


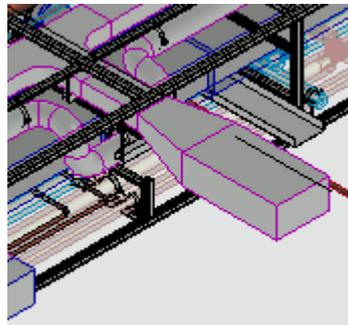
Figura 31 – Módulo MEP desenvolvido com recurso a componentes HILTI.

Na disposição dos componentes dos diversos sistemas no módulo, foram várias as interferências que ocorreram. A resolução destes pontos de conflito foi efetuada de forma manual (i.e. sem apoio específico de automatismos da plataforma de modelação), tendo-se seguido os seguintes princípios: verificação da existência de um espaço mínimo para que os objetos em conflito sejam realocados, respeitando o espaçamento mínimo e as considerações de montagem e o redimensionamento dos equipamentos até que as interferências sejam inibidas. Por vezes, acabam por surgir interferências que são aceitáveis, uma vez que não impossibilitam a montagem do módulo. Nestes casos, deve-se eleger a solução que apresente o menor número de interferências aceitáveis e os componentes responsáveis por tais conflitos deverão ser montados *à posteriori* em obra.

Na Figura 32 encontram-se algumas interferências que ocorreram na fase de desenvolvimento do módulo. Como referido anteriormente, o *rack* é subdividido em secções a cada metro de comprimento, levando a que em determinadas situações fosse imperativa a translação de alguns componentes dos sistemas ou o redimensionamento das calhas de instalação para que as interferências cessassem, como foram casos das condutas de ventilação mecânica, que colidiram com alguns dos perfis verticais do módulo.

Inicialmente, procurou-se efetuar um redimensionamento das calhas de instalação, como se verifica na Figura 32(c), tendo-se criado uma consola de calhas que abraçasse ambas as condutas responsáveis pela insuflação de ar. Contudo, apesar do conflito ter sido resolvido,

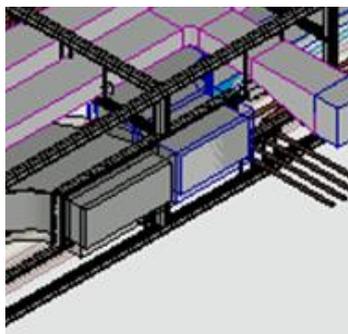
esta solução obrigaria a um grande trabalho de fabricação e ao desperdício de material. A solução que melhor respondia às necessidades encontra-se na Figura 32(d), em que as condutas se encontram suspensas com recurso a varões M8 e calhas de instalação HILTI MQ-21,5.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 32 – Pormenorização de algumas das interferências ocorridas durante a construção da estrutura do módulo. Em 29(b) e 29(d) encontra-se as disposições obtidas após a resolução dos conflitos.

A Construção Modular com recurso a calhas direcionadas para a Pré-Fabricação recorre a elementos de ligação metálicos que proporcionam uma rápida e segura montagem. Com a utilização deste tipo de ligadores, a construção do módulo encarece, mas em contrapartida não há a necessidade de contratar técnicos de soldadura para se efetuarem as ligações (Figura 33).

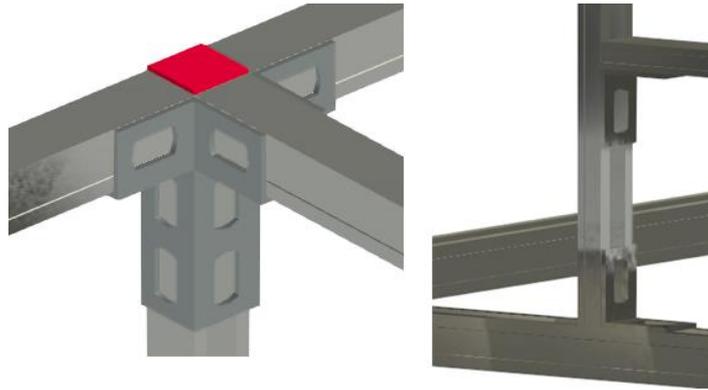


Figura 33 – Pormenorização de alguns dos ligadores metálicos utilizados para a união das calhas utilizadas no módulo.

No que concerne à fixação das tubagens do sistema de águas e das condutas circulares do sistema de ventilação mecânica, esta foi realizada por meio de suportes de tubagens direcionados para o efeito da HILTI, retirados da biblioteca *online* da empresa, e onde os objetos paramétricos utilizados apresentavam diferentes diâmetros de aperto e tipos de fixação à calha de suporte, como se verifica nas Figura 10 e Figura 34.

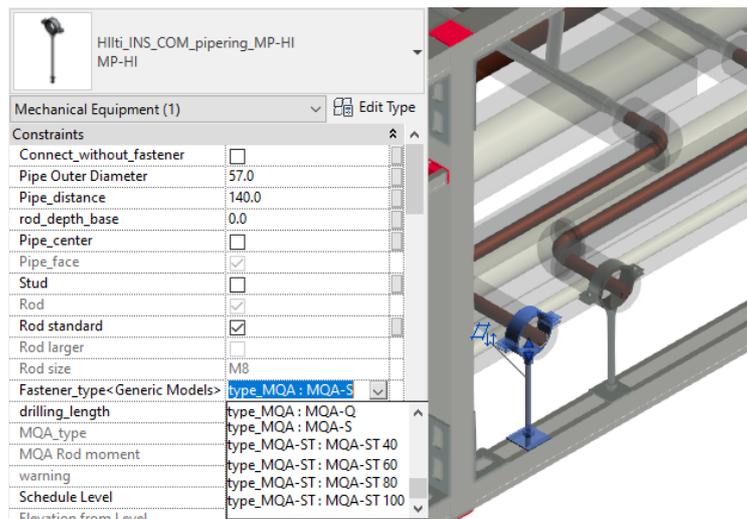


Figura 34 – Pormenorização de alguns dos ligadores metálicos utilizados para a união das calhas utilizadas no módulo.

3.3.6 Construção do módulo com tubo FACAR

A construção de um *rack* com recurso a elementos totalmente direcionados para a Construção Modular e Pré-Fabricação é, efetivamente, a melhor solução em termos de eficiência de montagem. Contudo, o preço de aquisição de todos os componentes necessários à montagem do módulo, desde as calhas de instalação, passando pelos ligadores metálicos e pelos tipos de união dos suportes das tubagens às calhas, tornam o módulo bastante caro.

De modo a perceber de que forma a utilização deste tipo de elementos potencia uma boa dicotomia preço de construção / eficiência de montagem, criou-se uma nova solução modular com recurso a outro tipo de estrutura metálica.

O objetivo passa por comparar os pontos convergentes e divergentes entre uma solução totalmente modular (com recurso a soluções HILTI) com outra que se serve de perfis metálicos de secção transversal quadrada em aço galvanizado, denominados por tubo FACAR. Estes perfis são obtidos a partir da dobragem de chapa de ferro que posteriormente é soldada para obtenção de uma secção fechada.

Para a elaboração da modelação 3D do novo módulo MEP, começou-se pela criação de uma família de perfis de secção transversal quadrada no *Revit 2020*. Tendo em consideração que, na solução modular, a calha de instalação MQ-41 da HILTI utilizada para a estrutura geral do *rack* tinha 41 mm de altura, gerou-se um perfil quadrado com 40mm x 40 mm e 2 mm de espessura, de modo a manter a dimensão total do módulo idêntica, sem a necessidade de modificar a disposição dos elementos dos sistemas integrantes (Figura 35).

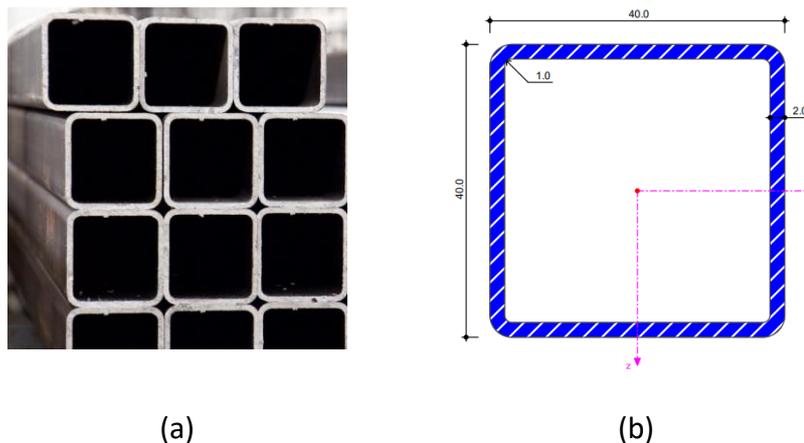


Figura 35 – 35(a) Perfil metálico de secção transversal quadrada utilizado na nova solução (tubo FACAR); 35(b) Dimensões do novo perfil metálico criado.

Na Figura 36 encontra-se o modelo obtido utilizando o tubo FACAR. Nesta solução, as uniões metálicas não se dão por ligadores metálicos, recorrendo-se a processos de soldadura para o efeito.

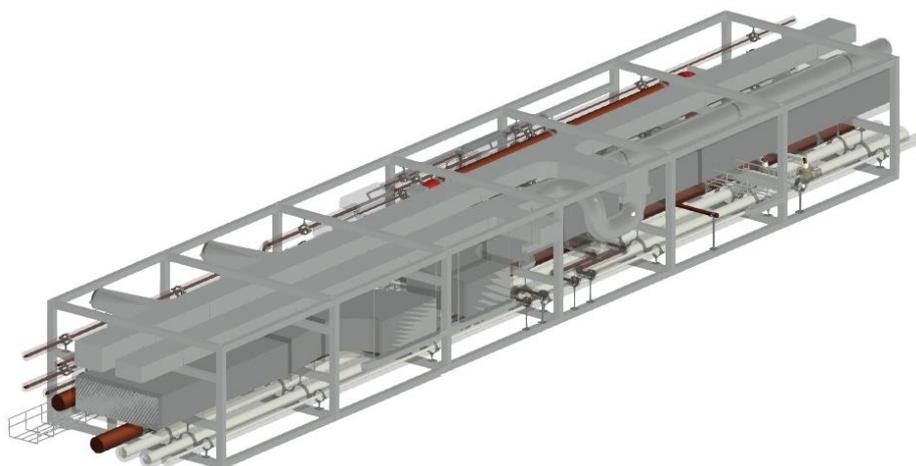


Figura 36 – Módulo MEP desenvolvido com recurso perfis metálicos de secção quadrada 40 mm x 40 mm com 2 mm de espessura.

3.3.7 Comparação dos módulos

Nas subsecções anteriores, apresentaram-se duas estruturas metálicas do módulo construídas de forma distinta. Apesar da estrutura final do *rack* ser bastante semelhante, em termos de dimensões, são várias as divergências existentes entre ambos.

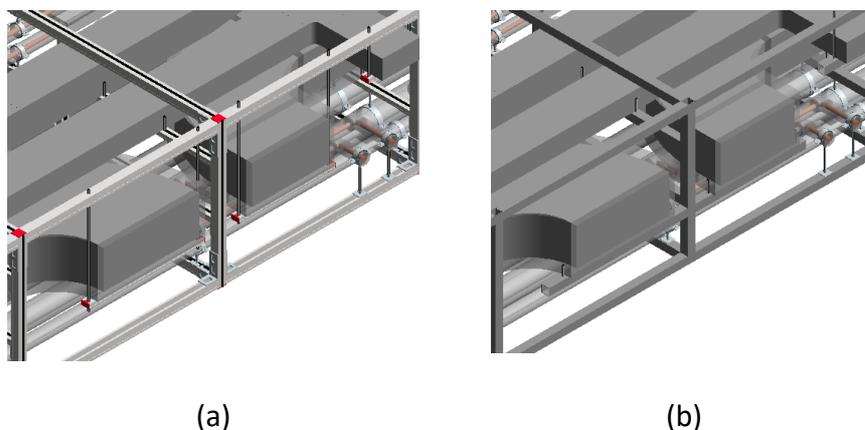


Figura 37 – Comparação entre a solução com recurso a componentes HILTI e a solução usando tubo FACAR. Em 36(a) as condutas de insuflação de ar estão suportadas em calhas MQ-21,5 estando estas suspensas com auxílio de varões roscados; em 36(b) as condutas estão apoiadas em tubo FACAR soldado à viga solidária.

O modelo direccionado para a construção modular na sua totalidade, com recurso aos componentes HILTI, permite uma montagem rápida, segura e eficiente do módulo MEP do corredor. Relativamente ao uso de perfis metálicos de secção transversal quadrada 40x40x2 mm para a construção do módulo, este promove uma Pré-Fabricação mais morosa e inibe a modularização.

Com efeito, em seguida apresentam-se algumas das diferenças entre os dois modelos.

A criação de um módulo com o tubo FACAR foi efetuada pelo facto de o protótipo final do *rack*, totalmente construído com calhas de instalação HILTI, apresentar um custo de compra de material impraticável, para a realidade da Pré-Fabricação.

No que diz respeito ao *rack* construído com os componentes HILTI, face à facilidade de manuseio e assemblagem das peças, é possível uma montagem mais rápida e segura, dado que as calhas de instalação apresentam orifícios direcionados para a inserção dos elementos de suporte dos componentes dos sistemas mecânico, de águas e elétrico (Figura 30). Em adição, esta solução incentiva a Modularização uma vez que, por se tratar de elementos com uma elevada facilidade de montagem, permite o ajustamento das calhas de suporte de acordo com a densidade dos sistemas MEP.

Como referido na secção 3.3.5, neste caso de estudo, a estrutura metálica construída com os perfis HILTI é fracionada de metro em metro, face ao comprimento que as calhas apresentam, havendo a necessidade de se cortar o perfil para posterior ligação metálica com as longarinas horizontais. Esta necessidade de corte das calhas para posterior união é uma grande desvantagem, pois obriga à utilização de um grande número de chapas metálicas de união, peças estas que apresentam um custo elevado. Contudo, para além do corte dos perfis, não há outra tarefa que necessite de especial atenção na construção do módulo, para além da correta disposição dos componentes dos sistemas MEP.

Noutro plano, um *rack* que seja totalmente desenvolvido com tubo FACAR, torna-se uma solução bastante mais económica, mas impossibilita a modularização, dado que as uniões metálicas se dão por soldadura. Este tipo de perfil é comercializado em grandes dimensões, podendo ser comprado em grande escala e, em ambiente fabril, montar-se uma linha de produção para o corte do mesmo. Ao contrário das calhas HILTI, o problema relacionado com os desperdícios de material é diminuto, dado que o processo de soldadura facilita o reaproveitamento.

As grandes desvantagens da utilização do tubo FACAR são: utilização de soldadura para as uniões metálicas, o que obriga à necessidade de operadores especializados; obrigatoriedade da furação dos perfis após terem sido soldados, para que os suportes dos componentes dos sistemas MEP, como as tubagens e as condutas circulares, sejam afixados com recurso a varões roscados, anilhas, porcas e contraporcas; a impossibilidade de implementação de uma solução modular, uma vez que a utilização da soldadura não permite a alteração estrutural do módulo.

A Tabela 4 apresenta, em forma de resumo, uma comparação das tarefas a serem realizadas para a construção do módulo MEP, de acordo com cada uma das vertentes.

Tabela 4 – Comparação das tarefas a serem realizadas com a utilização de cada um dos perfis para construção do rack.

| | | Tarefas a realizar | |
|-------------------|----------------|--------------------|------------|
| | | Calhas HILTI | Tubo FACAR |
| Compra do perfil | | ☑ | ☑ |
| Corte do perfil | | ☑ | ☑ |
| União metálica | Chapa metálica | ☑ | ☒ |
| | Soldadura | ☒ | ☑ |
| Furação do perfil | | ☒ | ☑ |

Por forma a comparar o custo de produção de cada um dos módulos, efetuou-se um levantamento dos custos de aquisição do material e montagem dos racks.

A estrutura metálica efetuada com recurso aos componentes HILTI foi elaborada sem ter em consideração o custo final do rack, onde o principal objetivo passava por obter a solução construtiva mais eficiente. Com efeito, foram utilizados todos os componentes indicados pela marca. A Tabela 5 indica a quantidade e o custo de aquisição (segundo o valor de venda ao público e com um desconto empresarial de 40%) das calhas e ligadores metálicos HILTI.

Tabela 5 – Explicação das quantidades e custo total da aquisição do material HILTI para a construção do rack.

| Perfil | Preço (€) | | | Quantidade (unidades) | | | Total (€) |
|------------------|-----------|-------|-------|-----------------------|-----|----|-----------|
| Calhas Metálicas | | | | | | | |
| MQ-41 | 2 m | 3 m | 6m | 2 m | 3 m | 6m | 582,12 |
| | 24,08 | 32,34 | 64,68 | | | 9 | |
| MQ-21.5 | 2 m | 3 m | 6m | 2 m | 3 m | 6m | |

| | | | | | | | |
|---------------------|-------------|--------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 14,56 | 19,88 | 39,62 | | | 4 | 158,48 |
| MQ-21 D | - | 3 m | 6m | - | 3 m | 6m | 67,83 |
| | - | 67,83 | 135,59 | | 1 | | |
| MQK-21-L | 200 mm | 300 mm | 450 mm | 200 mm | 300 mm | 450 mm | 25,69 |
| | 7,83 | 8,56 | 10,83 | | 3 | | |
| Ligadores Metálicos | | | | | | | |
| MQV-4/3 D | 10 unidades | | Quantidade (unidades) | | | | 334,70 |
| | 167,35 | | 20 | | | | |
| MQV-3/3 D | 10 unidades | | Quantidade (unidades) | | | | 128,90 |
| | 161,12 | | 8 | | | | |
| MQV-2/2 D | 10 unidades | | Quantidade (unidades) | | | | 20,63 |
| | 68,78 | | 3 | | | | |

| | | | |
|--|-------------|-----------------------|---------|
| | | | |
| MQW-3 | 20 unidades | Quantidade (unidades) | 31,39 |
| | 44,84 | 14 | |
| MQW 90º -R | 10 unidades | Quantidade (unidades) | 215,99 |
| | 77,14 | 28 | |
| MQN-C | 50 unidades | Quantidade (unidades) | 395,77 |
| | 96,06 | 206 | |
| Custo final da aquisição de calhas e ligadores metálicos | | | 1961,50 |
| Custo final com desconto empresarial de 40% | | | 784,60 |

Assim, para o a modularização da zona crítica do corredor em questão, verifica-se que, segundo o valor de venda ao público, o custo do material para a construção do *rack* com componentes HILTI rondam os 2000€. Para a construção modular, este valor é irrisoriamente elevado, tendo em consideração de que se refere apenas à aquisição do material para um módulo de 6 metros.

Relativamente ao módulo MEP construído com tubo FACAR, é de esperar que o custo do material seja significativamente menor. Um perfil de aço galvanizado de secção transversal quadrada 40x40x2 mm apresenta um custo de 5,49 €/m [42]. Para a criação do *rack*, são necessários 74,25 metros de comprimento de tubo FACAR, o que perfaz um total de, aproximadamente, 400€, como apresenta a Tabela 6. O principal motivo do encarecimento da solução estrutural que tem por base o tubo FACAR é o tipo de união metálica utilizado, a soldadura MAG (mais ainda assim mais económico que a união metálica por chapa dos componentes HILTI). Para a obtenção do custo de soldadura, considerou-se que um soldador com experiência demora, em média, 5 minutos para limpar o material, garantir o alinhamento

da esquadria, efetuar a soldadura e aplicar um tratamento contra a corrosão do aço galvanizado após a união metálica ter sido efetuada, com um custo associado de 25€/hora.

Tabela 6 – Explicação das quantidades e custo total da aquisição do tubo FACAR para a construção do rack.

| Perfil metálico de secção transversal quadrada (Tubo FACAR) | | | | |
|---|----------------|----------------|-----------------------------|-----------|
| Secção (mm) | Preço (€/m) | Quantidade (m) | | Total (€) |
| 40x40x2 | 5,49 | 74,25 | | 407,48 |
| União metálica | | | | |
| Tipo de união | Preço (€/hora) | Nº Soldaduras | Tempo de soldaduras (horas) | Total (€) |
| Soldadura | 25 | 93 | 7,75 | 193,75 |
| Custo final da construção da estrutura do rack com tubo FACAR | | | | 601,23 |

A Figura 38 apresenta, graficamente, a comparação de custos de construção da estrutura do módulo MEP, seguindo as duas metodologias expostas. Para além da montagem da estrutura do módulo MEP, existem custos referentes à montagem dos componentes que integram ambas as soluções (com a agravante de, no caso da solução de tubo FACAR, haver a necessidade da perfuração dos perfis para acoplar os suportes).

A Figura 39 demonstra, de forma gráfica, o paralelismo entre os tempos de montagem da estrutura do rack, das duas variantes. Considerou-se que o tempo de montagem de cada chapa metálica aos perfis seria de 1 minuto e, na solução que utiliza tubo FACAR, o tempo de soldadura total seria de 465 minutos, como apresentado na *Tabela 6*. Em adição, o tempo de furação de cada furo, para o acoplamento dos acessórios de montagem, seria também de um minuto, na solução que faz uso do tubo FACAR.

Desta forma é possível verificar que a criação de um módulo MEP usando perfis e ligadores HILTI, direcionados para a Construção Modular e Pré-Fabricação, tem um custo de aquisição de material cerca de três vezes superior ao módulo cuja estrutura metálica faz uso de perfis de aço galvanizado de secção transversal quadrada, pesa embora que os tempos de montagem e preparação do rack sejam significativamente inferiores (sensivelmente seis vezes mais célere).

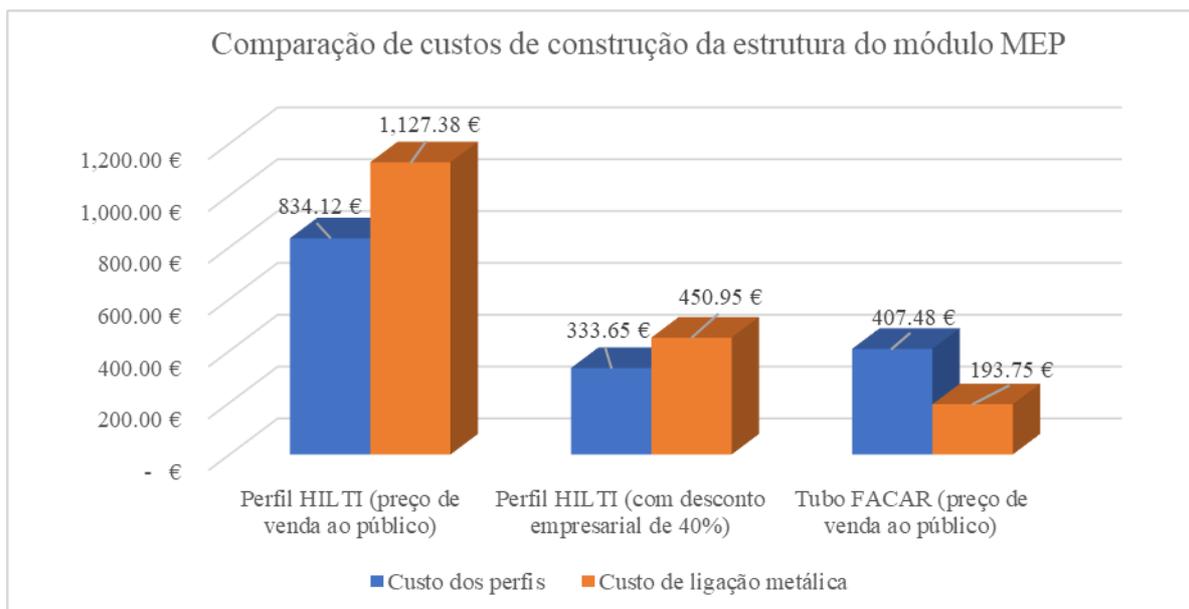


Figura 38 – Comparação de custos de construção da estrutura do módulo MEP.

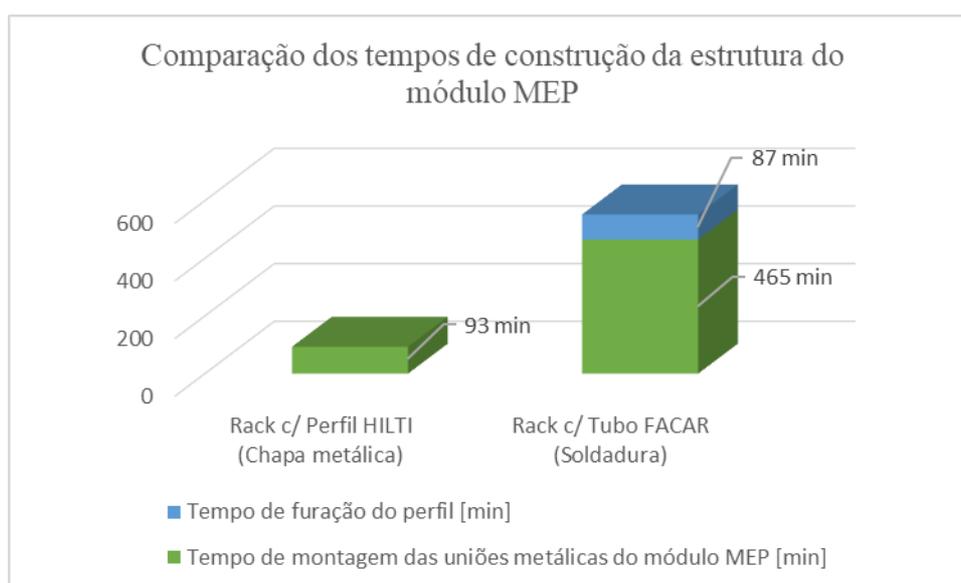


Figura 39 – Comparação de tempos de construção da estrutura do módulo MEP.

3.3.8 Fixação do módulo em obra

Com a construção dos módulos MEP finalizada, seguem-se o transporte e a instalação dos mesmos em obra. A fixação dos racks é uma tarefa complexa, podendo ser efetuada de forma sequencial ou combinada. No método sequencial da implementação dos módulos, primeiramente, os racks do corredor são dispostos sob o local de instalação; de seguida, são levantados e afixados à laje superior separadamente; por fim, conectam-se os elementos dos sistemas MEP dos vários módulos. Relativamente ao método de levantamento combinado, as

ligações dos elementos dos sistemas MEP realizam-se antes do levantamento e fixação dos *racks*. Assim, os módulos conectados são levantados simultaneamente e acoplados à laje superior. A Figura 40 apresenta uma esquematização das etapas a realizar para a acomodação dos módulos, de acordo com cada uma das metodologias.

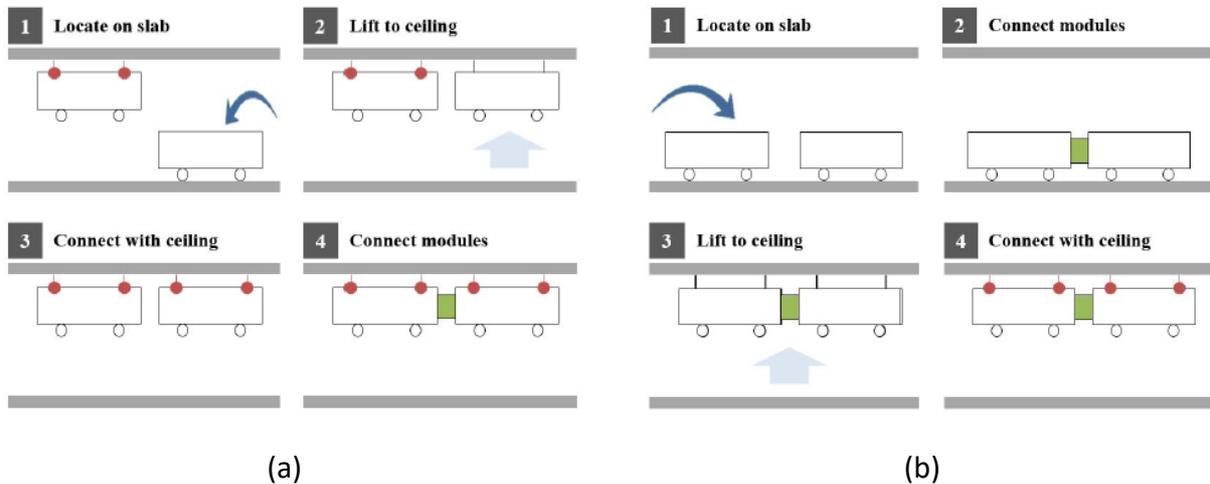


Figura 40 – Comparação entre as metodologias de levantamento e fixação dos módulos. Em 38(a) encontra-se o levantamento segundo o método sequencial e em 38(b) o método combinado. [36]

Uma vez que o destino final dos módulos é uma parte crítica de um corredor de hotel, caracterizada pela elevada densidade e complexidade dos sistemas MEP, a metodologia de levantamento e alocação dos *racks* deverá ser a combinada. Com a metodologia combinada, existe uma maior facilidade na união dos componentes dos sistemas MEP situados na parte superior do módulo, como são casos as condutas responsáveis pela extração e insuflação de ar, o que seria impossível de se realizar com os módulos previamente fixos à laje superior. Por outro lado, a conexão dos módulos segundo a metodologia combinada obriga à utilização de equipamentos de levantamento mais robustos, o que implica uma aplicação dos *racks* em obra mais morosa.

Depreende-se assim que, para a seleção da metodologia de levantamento e fixação dos *racks*, dever-se-á ter em conta a complexidade dos sistemas MEP no local em análise e os equipamentos de trabalho à disposição dos operadores [36], [37].

3.4 B&B Hotel Guimarães

3.4.1 Caracterização do empreendimento

Enquanto se realizava o estudo apresentado no subcapítulo anterior, referente a uma zona crítica de um dos corredores de piso, do B&B Hotel Porto Gaia, surgiu a necessidade de avançar com uma nova obra, o B&B Hotel Guimarães, Figura 41. A unidade hoteleira do B&B Hotel Guimarães tem uma capacidade para 95 quartos, em adição aos 44 apartamentos destinados ao público universitário, no edifício residencial, encontrando-se situada na freguesia de Azurém, junto ao Campus da Universidade do Minho.

Este projeto contempla várias soluções *offsite* que integram preocupações de sustentabilidade ambiental, tratando-se do primeiro edifício híbrido construído segundo o sistema CREE em território nacional. O sistema CREE consiste em soluções de construção de vários pisos em madeira híbrida pré-fabricada, promovendo uma construção sustentável e assente no pré-fabrico de componentes individuais.

Com efeito, por forma a incrementar a Pré-Fabricação na construção da unidade hoteleira, decidiu-se que as especialidades MEP também deveriam ser pré-fabricadas.



Figura 41 – Render do edifício B&B Hotel Guimarães.

Assim, utilizando o conhecimento adquirido e as boas práticas de construção do módulo utilizadas no B&B Hotel Porto Gaia, procedeu-se à modularização dos sistemas MEP de ambos os edifícios.

Nas secções seguintes serão expostas as modelações, desenhos de fabrico e fabricação dos *racks* horizontais, explanando as dificuldades encontradas ao longo das diferentes fases do projeto, para o edifício referente à unidade hoteleira. Não serão abordados os mecanismos de criação de cada um dos módulos MEP e dimensionamento dos mesmos, por se tratarem de tarefas repetitivas. Em anexo, encontram-se presentes os desenhos de projeto realizados de um dos módulos e a listagem de material para a criação dos módulos MEP.

3.4.2 Descrição do projeto

Por forma a perceber quais as áreas do edifício em que os sistemas mecânico, elétrico e de águas fossem passíveis de modularização, efetuou-se uma análise prévia aos projetos da arquitetura do hotel e aos das especialidades. O hotel é composto por sete pisos, sendo que quatro destes são Pisos Tipo, onde a arquitetura e a disposição dos elementos das especialidades são semelhantes. Deste modo, concluiu-se que havia a possibilidade de Pré-Fabricação dos sistemas MEP dos Pisos Tipo, com recurso a *racks* horizontais, bem como as coretes e as prumadas verticais, com a criação de *racks* verticais. A Figura 42 demonstra arquitetura do Piso 4, um dos Pisos Tipo, e a Figura 43 a disposição dos *racks* modelados.

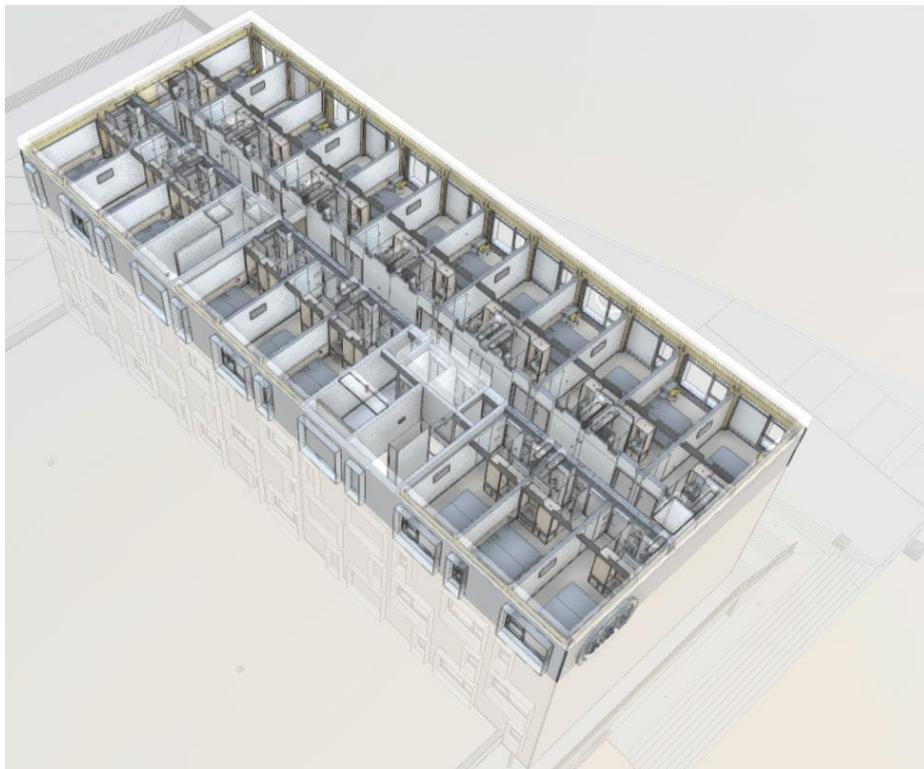


Figura 42 – Render da zona hoteleira, B&B Hotel Guimarães, especificando um dos Pisos Tipo.

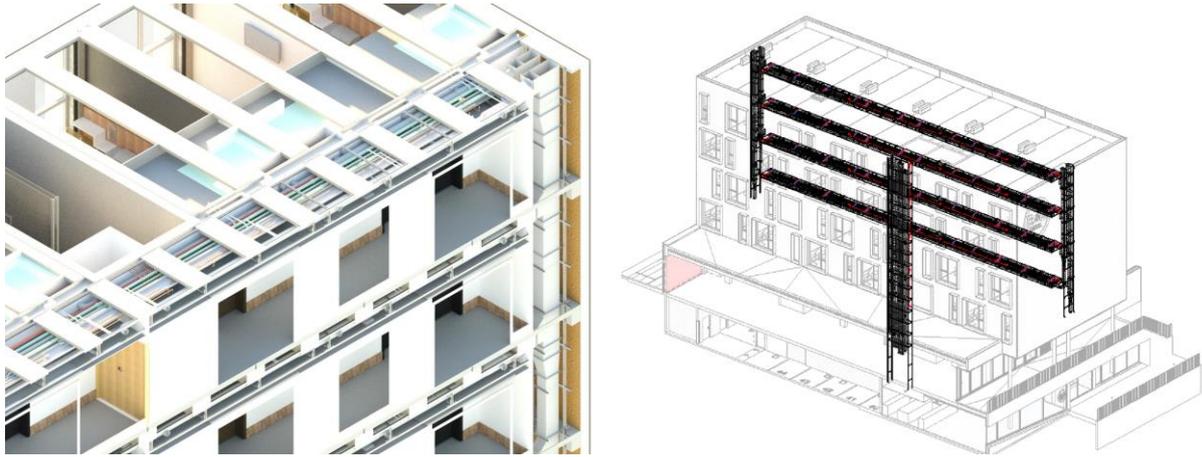


Figura 43 – Render da zona hoteleira, B&B Hotel Guimarães, demonstrando o posicionamento dos módulos MEP sobre o modelo da arquitetura.

A cada um dos Pisos Tipo serão acoplados seis módulos MEP horizontais, cujos cinco primeiros têm um comprimento de seis metros e o último de asserto tem três metros, conforme ilustrado na Figura 44. Para a criação dos módulos, fez-se todo o retrabalho de organização dos componentes das especialidades, de acordo com a metodologia utilizada no projeto exposto na secção B&B Hotel Porto Gaia.

A fase de projeto dos módulos MEP foi composta por diferentes momentos: primeiramente, efetuou-se uma análise prévia dos modelos fornecidos pelas restantes especialidades, tendo-se seguido o dimensionamento geral, a geração do modelo 3D e a criação dos desenhos e listas de materiais.

À semelhança do trabalho efetuado para o B&B Hotel Porto Gaia, a tarefa mais morosa assentou na modelação da solução final, em virtude de ter sido necessário refutar as colisões entre especialidades que foram existindo. Nesta fase do projeto, houve total simbiose com os arquitetos envolvidos no projeto, por forma a conhecer as zonas passíveis de alteração, em caso de necessidade, e aquelas em que a modificação era estritamente proibida.

No que concerne aos módulos horizontais, analisando o projeto da arquitetura da zona hoteleira, Figura 44, percebe-se que sobre o teto falso existiam vigas de madeira passantes, ao longo de todo o piso, sob a laje. Serão nestes elementos que, futuramente, a fixação dos *racks* se dará.

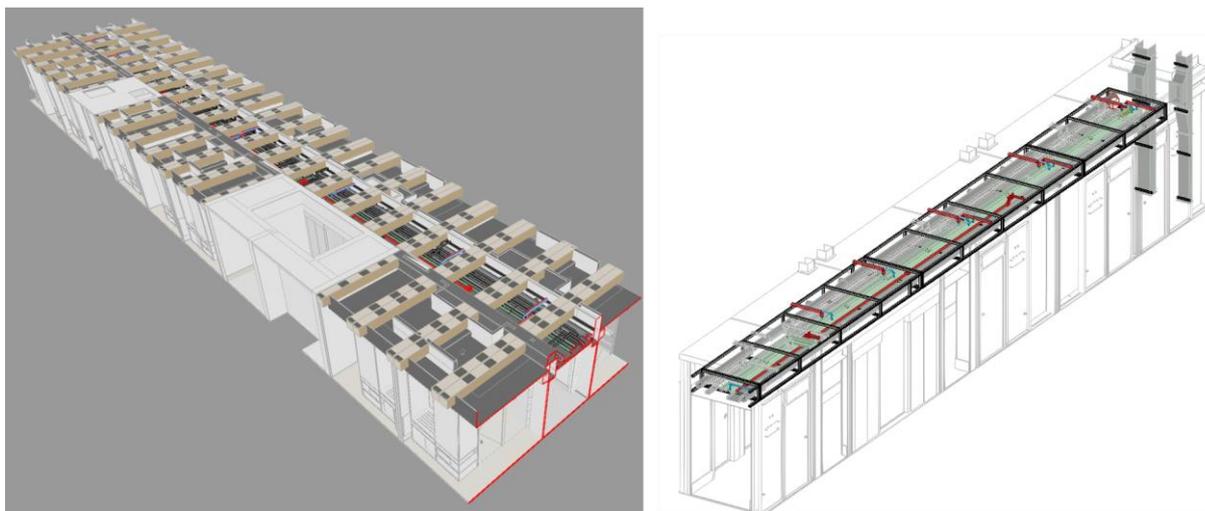


Figura 44 – Disposição dos *racks* horizontais ao longo do corredor de um dos Pisos Tipo, tendo em consideração o modelo da arquitetura.



Figura 45 – Vista de um corredor dos Pisos Tipo, com a disposição dos módulos MEP horizontais.

Cada Piso Tipo é composto por 21 quartos, que necessitam de abastecimento de água, sistemas de ventilação e alimentação elétrica. A modelação dos sistemas foi efetuada tendo em consideração as especificações do projeto, procurando utilizar objetos paramétricos referentes aos fornecedores dos produtos que iriam ser utilizados na fase de produção.

O maior desafio na criação dos módulos pré-fabricados prendeu-se com a transmissão dos dados referentes à modelação BIM – MEP para o projeto para fabrico, com a listagem de materiais personalizada. Por muitas vezes, a utilização de componentes standardizados na modelação, por falta de objetos paramétricos, ditou a alterações de dimensões nos

componentes e na disposição dos mesmos, dado que as geometrias das peças dos fabricantes diferenciavam dos componentes *standard* utilizados.

Ademais, um dos pontos críticos na criação dos *racks* prende-se com o dimensionamento dos mesmos. Para uma correta seleção do tipo de perfil a ser usado e o número de secções por módulo, torna-se imprescindível a realização de uma análise estrutural do *rack*. Assim, em conjunto com a HILTI, realizou-se o dimensionamento do *rack A*, de um dos corredores dos Pisos Tipo. Para a proposta de estruturas de suporte foram considerados os seguintes pressupostos: a integração de todas as especialidades MEP e a procura por soluções otimizadas, através de uma abordagem de suporte multe especialidade. Em adição, não foram consideradas as dilatações térmicas, a ação sísmica na definição conceptual dos suportes nem as ações adicionais ao peso próprio dos elementos.

No *rack A*, a secção crítica é composta pelos elementos presentes na Figura 46.

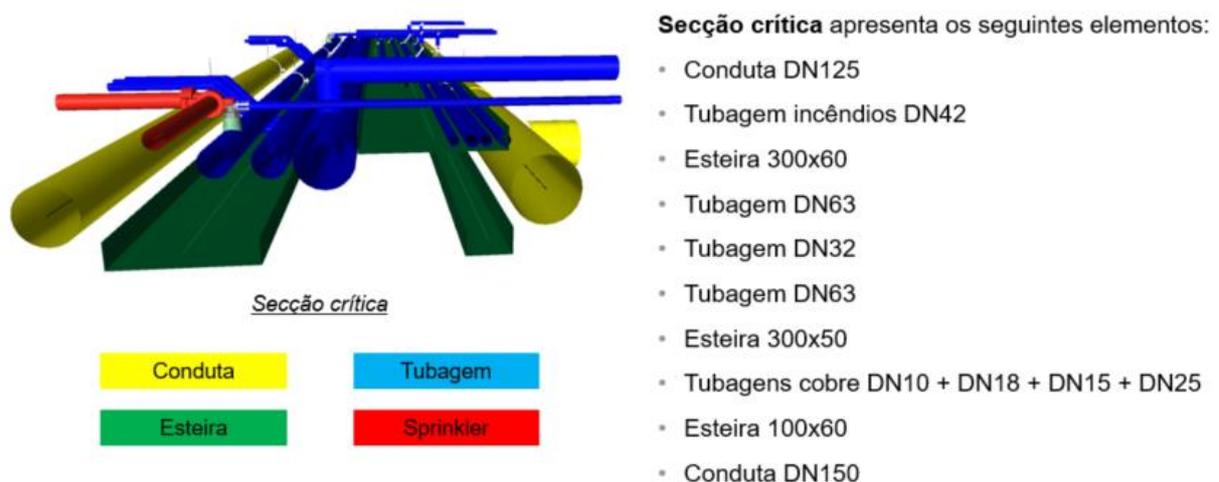


Figura 46 – Secção crítica referente ao *rack A* de um corredor dos Pisos Tipo.

Com recurso ao *software* da HILTI, efetuou-se a análise estrutural dos suportes constituintes do módulo MEP, e verificou-se que o modelo se encontrava bem dimensionado, como se observa na figura seguinte.

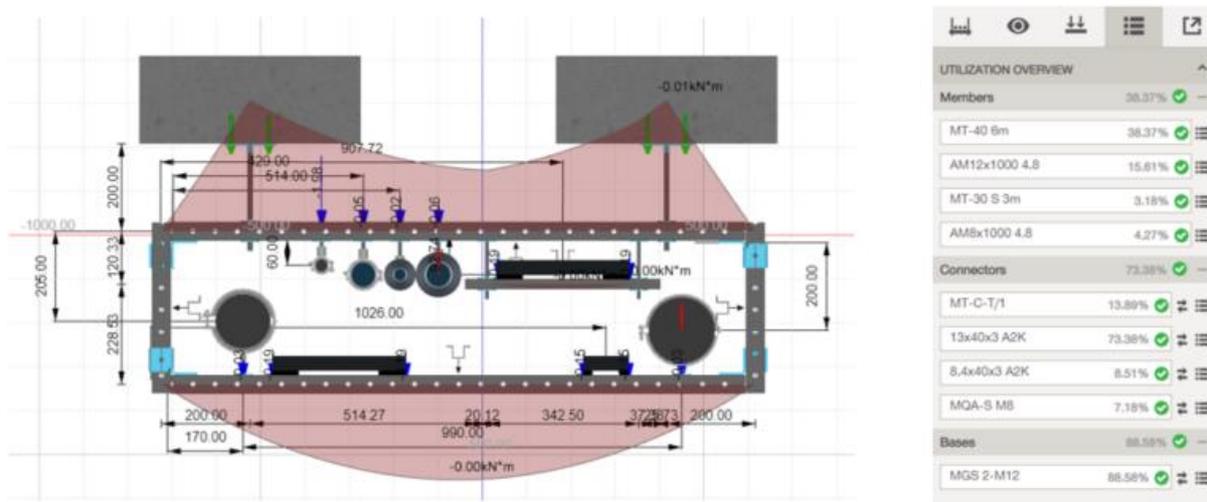


Figura 47 – Cálculo estrutural da secção mais desfavorável instalada no local, realizado no software da HILTI.

Com o dimensionamento da estrutura realizado, procedeu-se à listagem dos componentes dos suportes e direcionaram-se os projetos para o fabrico. Como referido anteriormente, cada corredor dos Pisos Tipo da unidade hoteleira do B&B Guimarães tem seis módulos, sendo que o racks A, B, C, D e E apresentam a mesma estrutura de suporte, Figura 48, e o rack F um rack de dimensões inferiores, conforme Figura 49.

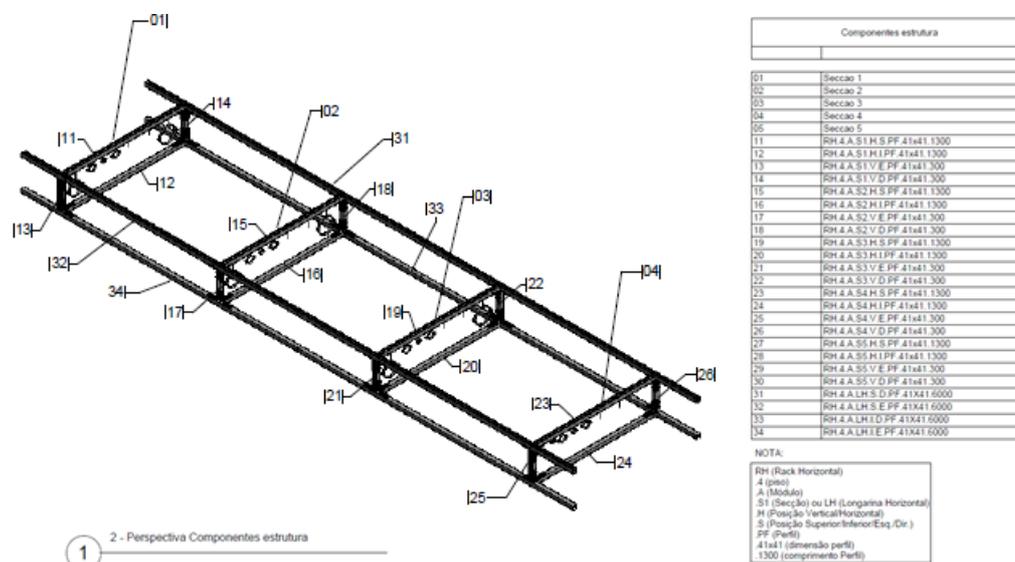
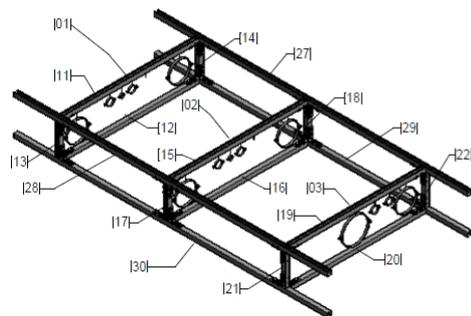


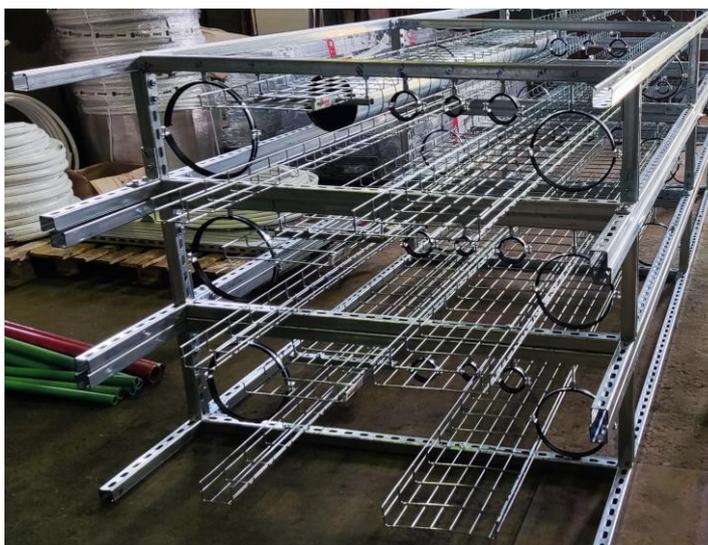
Figura 48 – Componentes da estrutura de suporte dos racks A, B, C, D e E.



| Componentes de estrutura | |
|--------------------------|----------------------|
| Key Value | Keynote Text |
| 01 | Seccao 1 |
| 02 | Seccao 2 |
| 03 | Seccao 3 |
| 11 | S1.H.S.PF.41x41.1300 |
| 12 | S1.H.I.PF.41x41.1300 |
| 13 | S1.V.E.PF.41x41.300 |
| 14 | S1.V.D.PF.41x41.300 |
| 15 | S2.H.S.PF.41x41.1300 |
| 16 | S2.H.I.PF.41x41.1300 |
| 17 | S2.V.E.PF.41x41.300 |
| 18 | S2.V.D.PF.41x41.300 |
| 19 | S3.H.S.PF.41x41.1300 |
| 20 | S3.H.I.PF.41x41.1300 |
| 21 | S3.V.E.PF.41x41.300 |
| 22 | S3.V.D.PF.41x41.300 |
| 27 | LH.S.D.PF.41X41.3000 |
| 28 | LH.S.E.PF.41X41.3000 |
| 29 | LH.I.D.PF.41X41.3000 |
| 30 | LH.I.E.PF.41X41.3000 |

Figura 49 – Componentes da estrutura de suporte do rack F.

Na Figura 50 observam-se as estruturas de suporte dos racks construídas para acoplarem os sistemas MEP. Para a construção, utilizaram-se ligações metálicas, para permitir uma maior velocidade de produção.



(a)



(b)

Figura 50 – (a) Estrutura de suporte dos racks de seis metros; (b) União metálica utilizada para criação dos módulos MEP.

No que diz respeito aos sistemas MEP, estes foram desenvolvidos consoante os projetos de cada especialidade. De seguinte, explanam-se os processos construtivos de cada um dos sistemas MEP.

Ora, o sistema mecânico, de cada um dos corredores dos Pisos Tipo é composto por tubos Spiro, responsáveis pela extração de ar dos compartimentos do piso. Pela análise dos projetos de arquitetura e mecânico, verificou-se a necessidade de colocação de registos corta fogo em algumas das paredes. Internamente, decidiu-se que os registos corta fogo iriam já instalados

nos *racks*, sendo que, para tal, a união dos módulos se desse exatamente no local em que a parede iria ser construída, por forma a tornar possível o correto posicionamento dos registos corta fogo e o isolamento dos mesmos. Nas restantes uniões entre módulos, uma vez que o objetivo passa por tornar a ligação o mais simples possível, os tubos Spiro serão ligados por meio de flanges, previamente montados em fábrica.



Figura 51 – Rack A dos corredores dos Pisos Tipo do hotel, verificando-se que os registos corta fogo se encontram na extremidade dos módulos.

No que toca à rede frigorígena (sistema de climatização), esta foi feita através de tubagens de cobre isolado, com a necessidade de um trabalho minucioso de corte e soldadura da tubagem às forquilhas de derivação. De todos os sistemas constituintes do módulo, o da climatização é aquele que mais tempo de preparação requer.

A Pré-Fabricação do sistema de climatização acarreta a problemática da necessidade de processos de soldadura entre todas as tubagens de módulos MEP solidários. Por forma a prevenir eventuais fugas de gás, aquando da instalação dos *racks* em obra, procedeu-se à pressurização da rede frigorígena com Azoto, a 41 bar. Assim, o soldador responsável pela união entre módulos MEP em obra irá verificar se, efetivamente, a tubagem de cobre isolado se encontra com a pressão à qual foi deixado após montagem em fábrica, concluindo se ocorreram fugas durante o transporte do mesmo.



Figura 52 - Tubagem de cobre isolado pressurizado com Azoto, a 41 bar, para que o soldador responsável pelas uniões em obra se aperceba da ocorrência de fugas, no sistema de climatização.

Relativamente aos sistemas de abastecimento de água quente, fria e retorno de água quente, este foi desenvolvido com recurso a tubagem PPR, com as picagens para cada quarto a darem-se através de tubagem multicamada. A modelação deste sistema foi realizada unicamente com recurso a objetos paramétricos, disponibilizados na biblioteca *HELIROMA*, uma vez que seria este o fornecedor do material necessário à montagem em fábrica. A ligação entre as tubagens PPR e a tubagem multicamada foi realizada com recurso a uniões simples macho e fêmea, sendo que o comprimento da tubagem de cada picagem era o indicado para que, aquando a afixação dos módulos, esta fosse diretamente ligada a cada uma das casas de banho.

Para a união entre módulos da tubagem PPR várias soluções surgiram, desde a união por eletrossoldadura, união com recurso a flange de aço e união mista de latão macho-fêmea. Derivado ao facto de a acessibilidade e espaço de trabalho serem reduzidos, no momento em que os *racks* são dispostos nas suas posições, a escolha recaiu na solução mais eficiente, a união mista de latão macho-fêmea, Figura 53c. Ao contrário das restantes, esta é possível de ser efetuada sem recurso a processos de soldadura e aparafusamento.



Figura 53 – Uniões possíveis para tubagem PPR: (a) união simples por eletrossoldadura; (b) união com flange de aço; (c) união mista de latão macho-fêmea.

Por sua vez, a rede de abastecimento de água contra incêndios foi montada com produtos *Victaulic*, tendo a modelação do sistema sido efetuada através do *plugin* do fabricante. Na montagem da tubagem de abastecimento de água contra incêndios houve a necessidade de

ajustar algumas cotas, face ao projeto para fabrico efetuado, por alterações do projeto de arquitetura numa fase avançada. Os carretéis dos Pisos Tipo trocaram de posição, o que obrigou à necessidade de efetuar duas picagens da rede, sob as tubagens PPR, como é possível verificar na Figura 54. A principal problemática referente à rede de abastecimento de água contra incêndios prende-se com as uniões entre módulos. Para o efeito, recorrem-se a juntas ranhuradas rígidas, o que dificulta a montagem *in situ*, dado que, para que a ligação das tubagens se dê, é preponderante o correto alinhamento das mesmas. A Figura 55 expõe o funcionamento da união ranhurada. Para se efetuar a ligação, o manuseio dos módulos terá que ser feito de forma a que o operador tenha espaço de trabalho suficiente.



Figura 54 – Picagem da rede de abastecimento de água contra incêndio sobre as tubagens PPR responsáveis pelo abastecimento de água, no rack D.



Figura 55 - Funcionamento da união ranhurada utilizada no sistema de abastecimento de água contra incêndios.

Por forma a verificar a correta montagem do sistema de águas nos módulos MEP, fez-se a testagem de todas as tubagens, de modo a despistar a existência de fugas. Para tal, com recurso a *End Caps* e a uma bomba hidráulica, procedeu-se à circulação de água entre as

diferentes tubagens, tendo-se retirado que o processo de montagem tinha sido bem efetuado, dado que a pressão a que a água circulava se manteve constante, ao longo do processo (a testagem das tubagens foi realizada a 4,5 bar de pressão).

Para o sistema elétrico apenas se dispuseram as esteiras dos caminhos de cabos sobre os módulos, uma vez que será em obra que as ligações elétricas serão feitas.

Na Figura 56 apresentam-se o modelo computadorizado e o modelo construído do *rack* A.

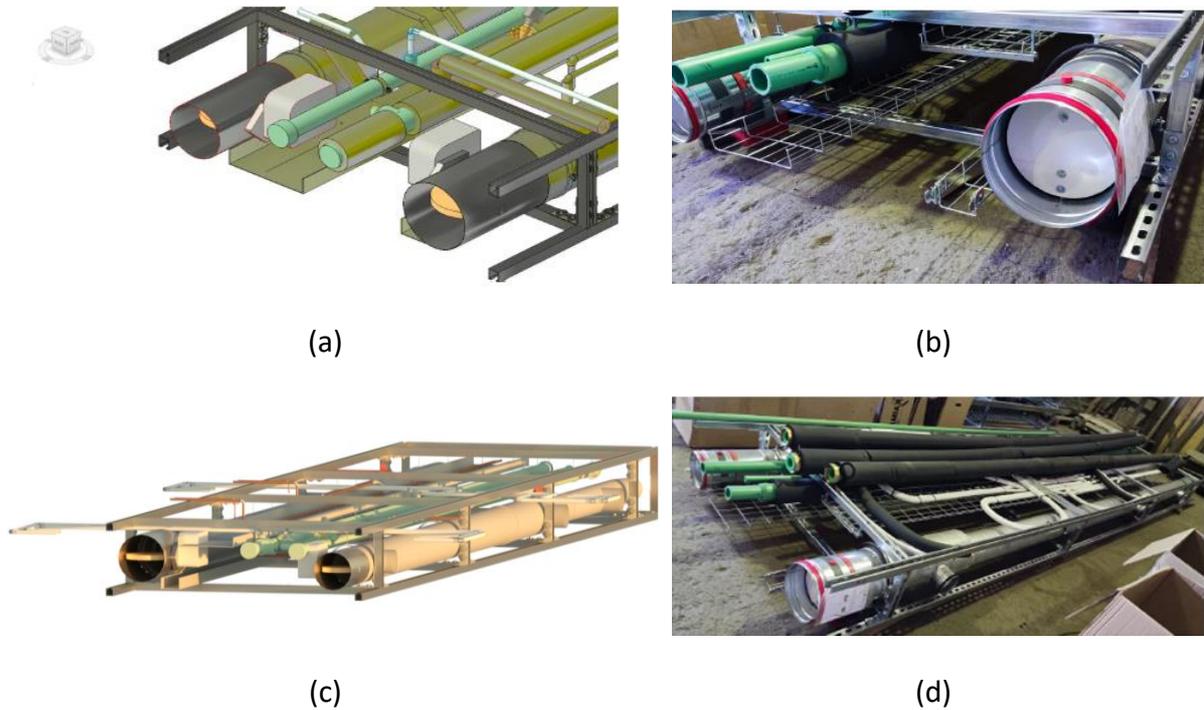


Figura 56 – Em (a) e (c) encontram-se as modelações do *rack* A; em (b) e (d) o *rack* A construído em fábrica.

3.4.3 Transporte e Fixação do módulo em obra

Com a montagem e testagem dos módulos finalizadas, procedeu-se ao transporte dos mesmos para a obra. Os módulos foram emparelhados por pisos e seguem para o local de construção à medida que cada piso é concluído. As etapas de transporte e alocação dos *racks* em obra encontram-se presentes na Figura 57. Para o manuseio dos módulos, dentro de fábrica, recorreu-se a uma ponte rolante, pelo facto dos módulos apresentarem um peso compreendido entre os 2000 N e os 3000 N. Uma vez em obra, as estruturas pré-fabricadas são içadas com recurso a uma grua de construção, através de um balancim.

No momento que antecede a fixação dos módulos MEP dos corredores, todos os *racks* serão organizados e as diretrizes presentes na secção Fixação do módulo em obra deverão ser seguidas.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 57 – Etapas de transporte dos *racks*, desde a fábrica onde foram desenvolvidos, em (a), até ao posicionamento em obra, em (d).

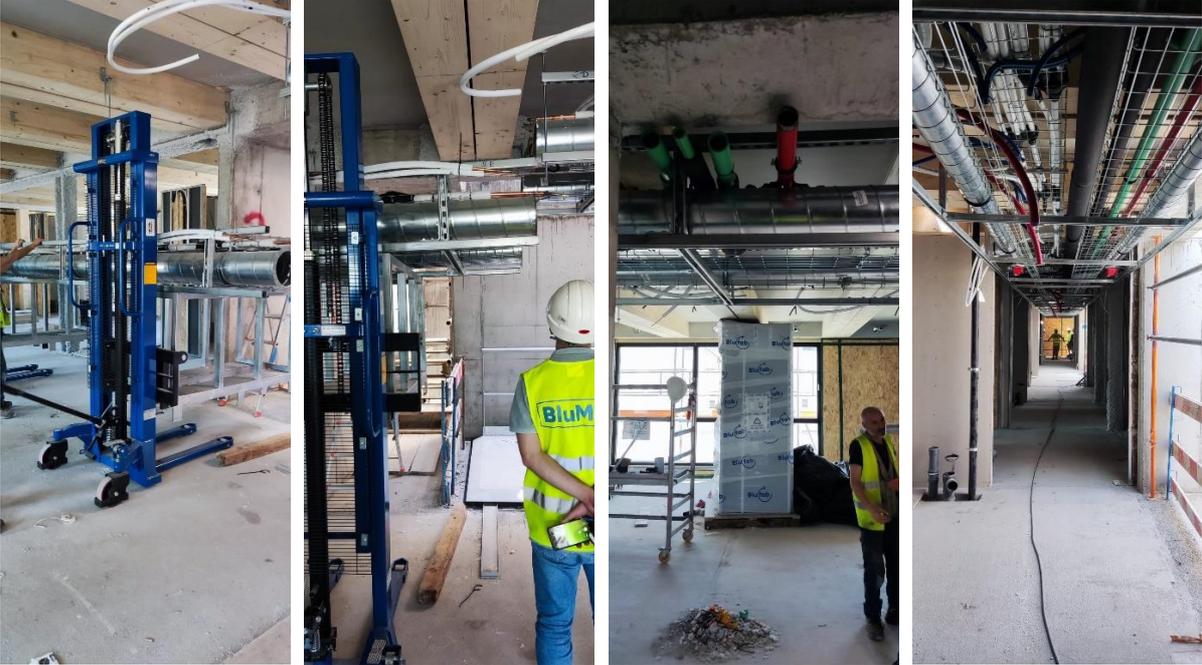
Para que a fixação dos *racks* em obra seja bem realizada, é fulcral um alinhamento correto das estruturas de suporte. Por forma a atender este requisito, em cada módulo, inseriram-se umas guias metálicas, Figura 58. O correto posicionamento é preponderante para que os vários elementos das especialidades MEP sejam unidos.

Em virtude dos equipamentos disponíveis, do espaço de trabalho para a união entre módulos e da densidade das especialidades MEP, o método de levantamento e fixação das estruturas de suporte será o sequencial.



Figura 58 – Guias metálicas para garantir o alinhamento entre as estruturas de suporte dos módulos.

A Figura 59 elenca as etapas para o procedimento de implementação dos racks em obra.



(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 59 – Etapas do processo de montagem dos módulos MEP em obra, desde o levantamento, alinhamento, afixação e união dos mesmos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 Conclusões e Síntese dos resultados

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões adquiridas sobre o presente tema desenvolvido e quais as perspectivas de evolução futura que podem ser aplicáveis.

A indústria da construção tem uma importância acentuada, na economia de Portugal. Esta indústria envolve não só os edifícios habitacionais como também edifícios públicos, obras de arte, vias de comunicação, entre muito outros.

Face à crise socioeconómica sentida durante as últimas décadas no país, a produtividade, na maioria das indústrias, sofreu um decréscimo acentuado, tendo sido o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) um dos principais alvos. Porém, abriu-se a janela de oportunidade para que as empresas adotassem novos métodos e processos de organização interna, de gestão e de produção, para aumentar o seu nível de competitividade e contornar o ciclo decante em que estavam inseridas. Assim, as empresas têm recorrido à integração de metodologias BIM, como potencial resposta às necessidades do mercado da construção.

Efetivamente, a incorporação das metodologias BIM está a produzir efeitos muito positivos na forma de construir em Portugal, mas há ainda muitos caminhos de melhoramento a explorar. A sua implementação é morosa, quer pelo facto dos custos associados, quer pela carência de normas que regulamentem os projetos.

As vantagens da integração do BIM em projetos são várias e foram assinaladas ao longo do presente estudo. Verifica-se que os projetos que mais têm a ganhar com a integração dos BIM são os mecânicos, elétricos e de águas (sistemas MEP), face à sua elevada complexidade e à necessidade de um intenso e dinâmico trabalho colaborativo.

Os projetos MEP, nos dias de hoje, são cada vez mais complexos, incluindo cada vez mais sistemas, e é a estes que grande parte dos custos de obra se prendem. Em adição, estes sistemas, seguindo o método de construção tradicional, em que a montagem dos componentes se dá em obra, ocupam grande parte do tempo de construção, havendo a necessidade de alargamentos dos prazos de entrega das obras.

Nesse sentido, muitas empresas vêm com bons olhos a alteração do processo tradicional construtivo por outros mais dinâmicos e que apresentem mais valias económicas e temporais, como a Pré-Fabricação e a Construção Modular.

A Pré-Fabricação e a Construção-Modular têm como principal objetivo a redução de custos e prazos de obra. Contudo, nem sempre este processo de construção se afigura como uma boa alternativa à construção tradicional, havendo a necessidade de se estudar o caso específico. A presente dissertação apresentou o recurso a metodologias BIM para atingir uma solução viável de modularização de uma das partes mais complexas de um corredor de hotel, onde a densidade dos sistemas MEP era bastante elevada. O principal foco de análise assentou na criação de um *rack* ideal que albergasse todos os componentes dos sistemas mecânico, elétrico e de águas que o trecho do corredor necessitava.

Para tal, efetuou-se um levantamento de estudo de mercado para se verificar o que era utilizado globalmente, no ramo da Pré-Construção. A junção dos componentes dos sistemas envolvidos foi efetuada por meio de um módulo, construído com recurso a perfis metálicos. O desenvolvimento da estrutura metálica do *rack*, a implementação dos suportes a cada um dos componentes dos sistemas integrantes e a resolução de interferências entre elementos foram realizados de forma manual. Com o desenvolvimento deste estudo, percebeu-se a importância do trabalho colaborativo no processo de Pré-Construção dos sistemas MEP e a necessidade de implementação de *softwares* que potenciem a criação de módulos automaticamente, sem que haja a necessidade destes terem de ser manualmente desenvolvidos, como foi o caso. Ademais a verificação automática/assistida permite ao engenheiro responsável antecipar e prevenir erros na fase precoce de Pré-Construção.

O *software* utilizado para a modelação, *Autodesk Revit 2020*, apresenta uma panóplia de funcionalidades para o desenvolvimento de cada um dos sistemas MEP integrantes. Contudo, apesar de apresentar uma secção de direcionada para a Pré-Fabricação, acaba por ser bastante limitado no que concerne à modelação dos componentes com redireccionamento para projetos de fabrico e não abriga a Pré-Fabricação de componentes como são casos os perfis metálicos utilizados na estrutura global do módulo.

Porém, apesar destas barreiras, retiraram-se alguns pontos chave para trabalhos futuros, tendo-se percebido que a construção modular dos sistemas MEP deve ser previamente ponderada e debatida em toda a extensão da equipa de trabalho, uma vez que nem sempre a sua implementação poderá ser benéfica, quando comparada com a construção clássica.

No caso particular em estudo, a criação de um módulo que desse uma resposta à elevada densidade dos sistemas MEP na região do corredor era algo a ter em conta, face ao tempo de implementação em obra descartado. Porém, em casos onde a densidade dos sistemas MEP é

reduzida, todo o processo de coordenação das equipas de trabalho, projeto e criação do *rack* poderá não ser vantajoso.

No que concerne à disposição dos elementos dos sistemas no módulo, delinearam-se princípios básicos de construção, por forma a dinamizar o processo construtivo.

Com o desenvolvimento do Hotel B&B Guimarães, foi possível aplicar as ideias implementadas no *rack* previamente estudado. A dinâmica de trabalho entre modelação assistida por computador dos sistemas MEP de todos os corredores dos Pisos Tipo e a transição da informação para chão de fábrica, veio concluir a ideia de que, efetivamente, o caminho da Indústria AEC passa pela padronização e modularização da construção. O desenvolvimento deste projeto evidenciou que o trabalho interdisciplinar é preponderante para o sucesso do produto, uma vez que os intervenientes de cada disciplina devem interagir entre si e notificar os restantes de possíveis alterações que possam colidir com as disciplinas alheias.

Além disso, na fase de produção verificou-se que nem sempre os desenhos de projeto faziam jus à realidade, tendo-se alterado pontualmente algumas posições e dimensões de tubagens. Estas diferenças estão, maioritariamente, ligadas ao facto do processo ser unicamente manual.

Retira-se que este processo poderá, no futuro, ser automatizado com recurso a ferramentas atualmente disponíveis para a coordenação de projetos, análise de interferências, resolução de conflitos em coordenação com ferramentas especializadas para MEP, como é o caso do *eVolveMEP*, para a divisão de sistemas MEP completos em módulos e redirecionar o projeto para a Pré-Construção, obtendo-se todas as informações necessárias à fabricação total do *rack*.

Por tudo isto, retira-se evidentemente que o futuro passa pela industrialização das instalações mecânicas com a inclusão da metodologia BIM no planeamento e controlo de projetos na empresa e pela aposta emergente no núcleo de pré-construção modular. A utilização de ferramentas BIM possibilita a obtenção de uma maior precisão na construção e melhor otimização de processos, em comparação aos processos tradicionais. Todavia, a implementação da metodologia BIM, a aposta na Pré-Fabricação e Construção Modular devem ser graduais e ponderadas, sendo que, para tal, sejam estabelecidos patamares e objetivos realistas a alcançar. Em adição, é preponderante verificar as questões de interoperabilidade entre *softwares*, que devem ser antecipadas e criteriosamente bem definidas.

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, o autor foi-se especializando na temática do BIM em contexto de pré-construção modular, tendo tido a oportunidade de expor, no 4º Congresso Português do *Building Information Modelling*, ptBIM, um artigo científico intitulado “Industrialização de Instalações de Edifícios: BIM e a Pré-Construção Modular”, que decorreu em Braga, de 4 a 6 de maio de 2022.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Pedro, D. Silva, and P. Martins, “Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção Aplicação ao Licenciamento Automático de Projectos,” 2009.
- [2] S. Martins, “Análise do Sector da Construção Civil e Obras Públicas,” Braga, Jan. 2008. [Online]. Available: www.editvalue.com
- [3] Manuel Reis Campos, “Construção e Imobiliário: imprescindível motor da retoma da economia nacional,” *Exame*, Sep. 09, 2020. Accessed: Jan. 25, 2022. [Online]. Available: <https://visao.sapo.pt/exame/opiniao-exame/2020-09-09-construcao-e-imobiliario-imprescindivel-motor-da-retoma-da-economia-nacional/>
- [4] randstad, “Setor da construção - perspectivas de crescimento,” Jul. 19, 2021. <https://www.randstad.pt/tendencias-360/mundo-do-trabalho/como-o-setor-da-construcao-esta-a-evoluir/> (accessed Jan. 25, 2022).
- [5] P. D. M. da Silva, “Aplicação de Técnicas BIM à Construção Modular com Painéis Sandwich,” pp. 1–126, 2012.
- [6] CURT, “Committee: Managing Construction Productivity,” 2012. <https://www.curt.org/committees/managing-construction-productivity/> (accessed Nov. 08, 2021).
- [7] J. Carlos Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas.”
- [8] D. Bryde, M. Broquetas, and J. M. Volm, “The project benefits of building information modelling (BIM),” *International Journal of Project Management*, vol. 31, no. 7, pp. 971–980, 2013, doi: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001.
- [9] R. E. M. Leite, “Métodos Construtivos De Edifícios – Comparação Entre Pré-Fabricação E Armado,” pp. 1–175, 2015, [Online]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjmh9vlsI_IAhVxSxUIHanqC1QQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fpdfs.semanticscholar.org%2F9891%2F5850b1cb32671900d8f1dcf6669fe2feca3c.pdf&usg=AOvVaw0gc44eEE5qTRY6Rg6pqlBch

- [10] J. Clemente and N. Cachadinha, "Building Information Modeling Como Ferramenta De Visualização De Realidade Aumentada Em Obras De Reabilitação – Um Caso De Estudo," pp. 1–13, 2012.
- [11] M. Hill, *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets*. 2014.
- [12] NIMBS Committe, "National Building Information Modeling Standard," *Nbim*, p. 180, 2007.
- [13] M. Yalcinkaya and V. Singh, "Patterns and trends in Building Information Modeling (BIM) research: A Latent Semantic Analysis," *Automation in Construction*, vol. 59, pp. 68–80, 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.07.012.
- [14] G. Lee, R. Sacks, and C. M. Eastman, "Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system," *Automation in Construction*, vol. 15, no. 6, pp. 758–776, 2006, doi: 10.1016/j.autcon.2005.09.009.
- [15] J. Martins and A. Monteiro, "Building Information Modeling (BIM) - teoria e aplicação," *International Conference on Engineering*, vol. 58, no. March, 2011.
- [16] Z. Z. Hu, J. P. Zhang, F. Q. Yu, P. L. Tian, and X. S. Xiang, "Construction and facility management of large MEP projects using a multi-Scale building information model," *Advances in Engineering Software*, vol. 100, pp. 215–230, 2016, doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.07.006.
- [17] R. D. F. Otero, "Otimização do planejamento dos trabalhos MEP com recurso a modelos BIM," p. 114, 2014.
- [18] T. Korman and L. Simonian, "Using Building Information Modeling to teach mechanical, electrical, and plumbing coordination," *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 2010, doi: 10.18260/1-2--15643.
- [19] R. R. Ribeiro and K. M. L. César Júnior, "Modelagem paramétrica baseada em objetos em BIM para o projeto estrutural: estudo de caso de fundações tipo tubulão," *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 12, p. e021029, 2021, doi: 10.20396/parc.v12i00.8653835.
- [20] S. Yarmohammadi and B. Ashuri, "Exploring the approaches in the implementation of BIM-based MEP coordination in the USA," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 20, no. September 2016, pp. 347–363, 2015.
- [21] H. Xie, J. M. Tramel, and W. Shi, "Building information modeling and simulation for the mechanical, electrical, and plumbing systems," *Proceedings - 2011 IEEE International*

- Conference on Computer Science and Automation Engineering, CSAE 2011*, vol. 3, pp. 77–80, 2011, doi: 10.1109/CSAE.2011.5952637.
- [22] G. Lee and J. W. Kim, “Parallel vs. Sequential cascading MEP coordination strategies: A pharmaceutical building case study,” *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 170–179, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.03.004.
- [23] T. M. Korman, M. A. Fischer, and C. B. Tatum, “Knowledge and Reasoning for MEP Coordination,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 129, no. 6, pp. 627–634, 2003, doi: 10.1061/(asce)0733-9364(2003)129:6(627).
- [24] L. Wang and F. Leite, “Formalized knowledge representation for spatial conflict coordination of mechanical, electrical and plumbing (MEP) systems in new building projects,” *Automation in Construction*, vol. 64, pp. 20–26, 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2015.12.020.
- [25] B. Ashuri, S. Yarmohammadi, and M. Shahandashti, “A Critical Review of Methods Used to Determine Productivity of Mechanical, Electrical, and Plumbing Systems Coordination,” no. September 2016, pp. 777–786, 2014, doi: 10.1061/9780784413517.080.
- [26] A. Nekouvaght Tak, H. Taghaddos, A. Mousaei, and U. (Rick) Hermann, “Evaluating industrial modularization strategies: Local vs. overseas fabrication,” *Automation in Construction*, vol. 114, no. May 2019, p. 103175, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103175.
- [27] A. R. F. Poças, “Planeamento e controlo de projetos de construção com recurso ao BIM,” pp. 1–147, 2015.
- [28] K. Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael; Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2008.
- [29] J. Parreira and N. Cachadinha, “Implementação Bim E Integração Nos Processos Intraorganizacionais Em Empresas De Construção. Estudo De Caso,” 2012.
- [30] A. Nunes, “PLANEJAMENTO DE OBRAS COM MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO-BIM,” Universidade Federal da Bahia, 2013.
- [31] Winderson Soares Matos, “BIM: entendendo a curva de MacLeamy e como funciona basicamente o fluxo de trabalho em BIM,” *engenhariaeetc*, 2015. <https://engenhariaeetc.wordpress.com/2015/09/21/bim-entendendo-a-curva-de->

- macleamy-e-como-funciona-basicamente-o-fluxo-de-trabalho-em-bim/ (accessed May 04, 2021).
- [32] C. Chastre, “Construção, inovação e pré-fabricação em betão,” *Construção Magazine*, vol. 88, no. Novembro/Dezembro, pp. 59–61, 2018.
- [33] A. Couto and J. Couto, “Vantagens produtivas e ambientais da pré-fabricação,” *Conferências de Engenharia “Engenharias’07”*, no. figura 1, p. 5, 2007.
- [34] T. Samarasinghe, T. Gunawardena, P. Mendis, M. Sofi, and L. Aye, “Dependency Structure Matrix and Hierarchical Clustering based algorithm for optimum module identification in MEP systems,” *Automation in Construction*, vol. 104, no. March, pp. 153–178, 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.03.021.
- [35] J. T. O’Connor, W. J. O’Brien, and J. O. Choi, “Critical Success Factors and Enablers for Optimum and Maximum Industrial Modularization,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 140, no. 6, p. 04014012, 2014, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000842.
- [36] S. Jang, “Comparative analysis of multi-trade prefabrication construction methods,” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 503–509, 2018, doi: 10.3130/jaabe.17.503.
- [37] S. Jang and G. Lee, “Process, productivity, and economic analyses of BIM–based multi-trade prefabrication—A case study,” *Automation in Construction*, vol. 89, no. March 2017, pp. 86–98, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2017.12.035.
- [38] S. Hoover, P. Trombitas, and E. Cowles, “Prefabrication: The changing face of engineering and construction,” *2017 FMI/BIMForum Prefabrication Survey*, p. 43, 2017.
- [39] O. Lavikka, R., Chauhan, K., Peltokorpi, A., & Seppänen, “Fostering prefabrication in construction projects – case MEP in Finland,” *J. Karlshøj, & R. Scherer (Eds.)*, vol. Proceeding, no. eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, pp. 273–280, 2018.
- [40] T. S. Overview, K. Findings, and I. Tools, “Modularization and Offsite Assembly (Best Practice),” no. Figure 6, pp. 1–5, 2017.
- [41] J. Guo, Q. Wang, and J. H. Park, “Geometric quality inspection of prefabricated MEP modules with 3D laser scanning,” *Automation in Construction*, vol. 111, no. December 2019, p. 103053, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2019.103053.

[42] S. Armazém and A. Barros, "TABELA DE PREÇOS." [Online]. Available: www.masterferro.pt

ANEXO 1 – LISTAGEM DE MATERIAL

| Estrutura de Suporte Racks | Un | total (1RACK) | TOTAL | Stock | |
|--------------------------------------|-----------|--------------------------|--------------|--------------|-------|
| PERFIL PERFURADO ACO GALV 41X41X2,5 | m | 234 | 936 | 900 | -36 |
| ESQUADROS P/PERFIL 41 | un | 280 | 1120 | 500 | -620 |
| PARAF.ACO C/ CAB.SEXT.M10X20 | un | 1080 | 4320 | 2000 | -2320 |
| ANILHA CHAPA ABA LARGA 8MM | un | 210 | 840 | 0 | -840 |
| PORCA BATENTE PARA GUIA INDEX TUGX10 | un | 1080 | 4320 | | -4320 |
| ABRACADEIRA ISOFONICA M8+M10 Ø250 | un | 2 | 8 | 7 | -1 |
| ABRACADEIRA ISOFONICA M8+M10 Ø200 | un | 28 | 112 | 40 | -72 |
| ABRACADEIRA ISOFONICA M8+M10 Ø150 | un | 11 | 44 | 10 | -34 |
| ABRACADEIRA ISOFONICA M8+M10 Ø125 | un | 5 | 20 | 100 | 80 |
| ABRACADEIRA ISOFONICA M8+M10 Ø 63 | un | 56 | 224 | 240 | 16 |
| ABRACADEIRA ISOFONICA M8+M10 Ø 32 | un | 45 | 180 | 155 | -25 |
| VARÃO M8 | m | 23 | 92 | 250 | 158 |
| PORCA M8 | m | 390 | 1560 | 500 | -1060 |

| Sistema Mecânico – Ventilação | | | | | |
|---|-----------|--------------------------|--------------|--------------|-------|
| Material | Un | total (1RACK) | TOTAL | Stock | |
| UNIÃO SPIRO SAFE 200 | un | 6,0 | 24 | 11 | -13,0 |
| UNIAO SPIROSAFE 150 | un | 4,0 | 16 | 6 | -10,0 |
| UNIAO SPIROSAFE 125 | un | 1,0 | 4 | 13 | 9,0 |
| REDUÇÃO EXCÊNTRICA SPIRO SAFE 250X200 | un | 2,0 | 8 | 1 | -7,0 |
| REDUÇÃO CONCÊNTRICA SPIRO SAFE 200X150 | un | 4,0 | 16 | 2 | -14,0 |
| REDUÇÃO CONCÊNTRICA SPIRO SAFE 150X125 | un | 4,0 | 16 | 2 | -14,0 |
| CANHÃO SPIRO C/BORRACHA D125 P/ TUBO DN 250 | un | 2,0 | 8 | 1 | -7,0 |
| CANHÃO SPIRO C/BORRACHA D125 P/ TUBO DN 200 | un | 9,0 | 36 | 4 | -32,0 |
| CANHÃO SPIRO C/BORRACHA D125 P/ TUBO DN 150 | un | 6,0 | 24 | 1 | -23,0 |
| CURVA SPIRO 90° DN 125 | un | 4,0 | 16 | 2 | -14,0 |
| TUBO SPIRO DN 125 | m | 9 | 36 | 96 | 60 |
| TUBO SPIRO DN 150 | m | 15 | 60 | 150 | 90 |
| TUBO SPIRO DN 200 | m | 33 | 132 | 84 | -48 |
| TUBO SPIRO DN 250 | m | 1,5 | 6 | 24 | 18 |
| RCF CIRCE 4 MICRO FDCU D250 | un | 2 | 8 | 4 | -4 |
| RCF CIRCE 4 MICRO FDCU D200 | un | 2 | 8 | 4 | -4 |

| Sistema Mecânico – Rede Frigorígena | | | | | |
|--|-----------|--------------------------|--------------|--------------|-----|
| Material | Un | total (1RACK) | TOTAL | Stock | |
| TUBO COBRE ISOLADO REFRIG 22,22MMX1,0MM | m | 2 | 8 | 0 | -8 |
| TUBO COBRE ISOLADO REFRIG 19,05MMX1,0MM | m | 17 | 68 | 0 | -68 |

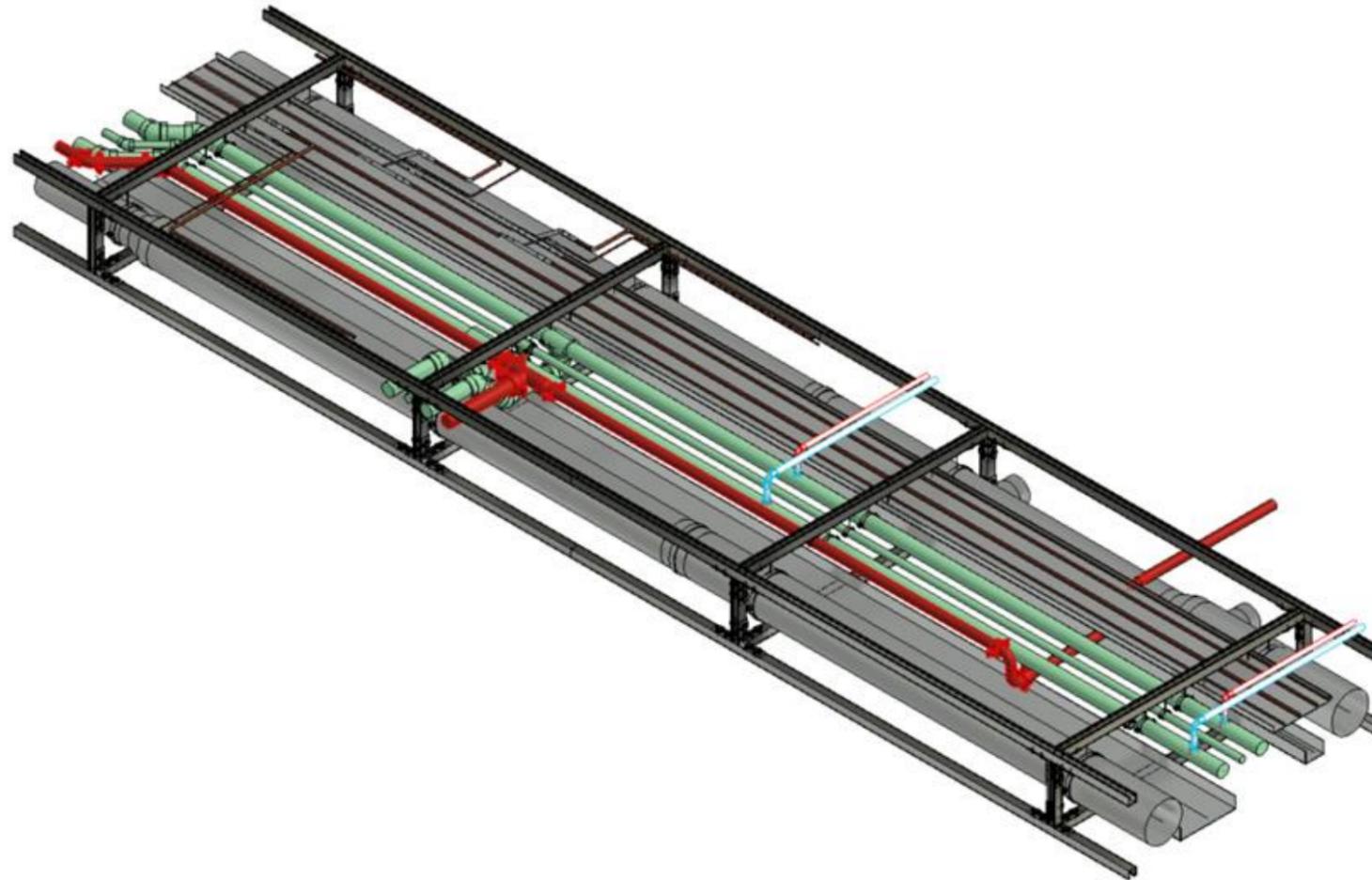
| | | | | | |
|--|------|-----|------|-----|-------|
| TUBO COBRE ISOLADO REFRIG 15,9MMX1,0MM | m | 39 | 156 | 125 | -31 |
| TUBO COBRE REFRIG ISOLADO 12.7X0.7-1/2" | m | 68 | 272 | 175 | -97 |
| TUBO COBRE REFRI. ISOL. 9,53-3/8"-50M | m | 43 | 172 | 200 | 28 |
| TUBO COBRE REFRI. ISOL. 6,35-1/4" 08-50M | m | 43 | 172 | 250 | 78 |
| DERIVADOR FQZHN-01D | un | 15 | 60 | 10 | -50 |
| DERIVADOR FQZHN-02D | un | 7 | 28 | 0 | -28 |
| FITA ISOLADORA | Rolo | 2 | 8 | 0 | -8 |
| SERILHAS 4,8X300 | un | 160 | 640 | 0 | -640 |
| FITA DE PAPEL 50MM | Rolo | 2 | 8 | 0 | -8 |
| TEFLON | un | 0,5 | 2 | 0 | -2 |
| PARAF. AUTOPERF DIN7504N ACO ZN 4,2X13 | un | 300 | 1200 | | -1200 |

| Sistema de Águas | Un | total (1RACK) | TOTAL | Stock | |
|---|----|------------------|-------|-------|------|
| TUBO PPR PN20 DN63 VERDE (PPR CT 125 SDR11) | m | 68 | 272 | 308 | 36 |
| TUBO PPR PN20 DN32 VERDE (PPR 100 SDR7,4) | m | 36 | 144 | 156 | 12 |
| TUBO PPR PN20 DN40 VERDE (PPR 100 SDR7,4) | m | 1 | 4 | 8 | 4 |
| UNIAO PPR DN63 | un | 10 | 40 | 36 | -4 |
| UNIAO PPR DN32 | un | 5 | 20 | 36 | 16 |
| UNIAO MISTA DE LATAO SIMPLES DN63 | un | 10 | 40 | 46 | 6 |
| UNIAO MISTA DE LATAO SIMPLES DN32 | un | 5 | 20 | 24 | 4 |
| TAMPO PPR DN 63 | un | 4 | 16 | | -16 |
| TAMPO PPR DN 32 | un | 2 | 8 | | -8 |
| TÊ PPR DN 63x32x63 | un | 2 | 8 | | -8 |
| Tê PPR DN 40 | un | 1 | 4 | | -4 |
| TÊ PPR DN 63 | un | 2 | 8 | | -8 |
| JOELHO 90 PPR DN 32 | un | 2 | 8 | 2 | -6 |
| JOELHO 45° PPR DN 40 | un | 3 | 12 | 0 | -12 |
| JOELHO 45° PPR DN 63 | un | 6 | 24 | 0 | -24 |
| CASQUILHO PPR 32x1" M | un | 4 | 16 | | -16 |
| TUBO MC DN 20 (sem comprimento do tubo ao quarto) | m | 40 | 160 | 100 | -60 |
| INSERÇÃO PPR 63x78x90 3/4" F | un | 40 | 160 | 115 | -45 |
| CASQUILHO MC 20x3/4 M | un | 40 | 160 | 94 | -66 |
| ESTABILIZ.AUT.CAUDAL Caleffi 130 1" | un | 2 | 8 | 1 | -7 |
| ISOLAMENTO KAIFLEX EF 32x64 | m | 34 | 136 | 184 | 48 |
| ISOLAMENTO KAIFLEX EF 19x35 | m | 34 | 136 | 184 | 48 |
| ISOLAMENTO KAIFLEX EF 19x20 | m | 26 | 104 | 0 | -104 |
| ISOLAMENTO KAIFLEX EF 19x42 | m | 1 | 4 | 0 | -4 |
| REDUÇÃO PPR 40x32 | un | 2 | 8 | 0 | -8 |
| | | | | | |
| Abastecimento de água contra incêndios | | | | | |
| TUBO FERRO PRETO RANHURADO 1"1/4 | m | 21 | 84 | | -84 |
| TUBO FERRO PRETO RANHURADO 2" | m | 0,5 | 2 | 3 | 1 |
| JOELHO 90° RANHURADO 1"1/4 | un | 3 | 12 | 2 | -10 |

| | | | | | |
|----------------------------|----|---|----|---|-----|
| UNIÃO FLEXIVÉL 1"1/4 | un | 7 | 28 | 5 | -23 |
| UNIÃO FLEXIVÉL 2 | un | 3 | 12 | | -12 |
| TE RANHURADO 2" | un | 1 | 4 | | -4 |
| REDUÇÃO RANHURADO 2"x1"1/4 | un | 2 | 8 | | -8 |

| | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|--|--|-----|
| INSERÇÃO PPR 63x78x90 3/4" M | un | | | | -55 |
| CASQUILHO MC 20x3/4 F PORCA LOUCA | un | | | | -55 |

| Sistema Elétrico | Un | total (1RACK) | TOTAL | Stock | |
|-------------------------------------|----|------------------|-------|-------|------|
| CAMINHO CABOS 60x100 PEMSA 60211300 | m | 33 | 132 | 132 | 0 |
| CAMINHO CABOS 60X300 PEMSA 60512300 | m | 33 | 132 | 132 | 0 |
| CAMINHO CABOS 35X300 PEMSA 60512100 | m | 33 | 132 | 132 | 0 |
| UNIÃO REFORÇADA EZ 64010061 PEMSA | un | 114 | 456 | 0 | -456 |



1 RH.4.D - Perspectiva módulo

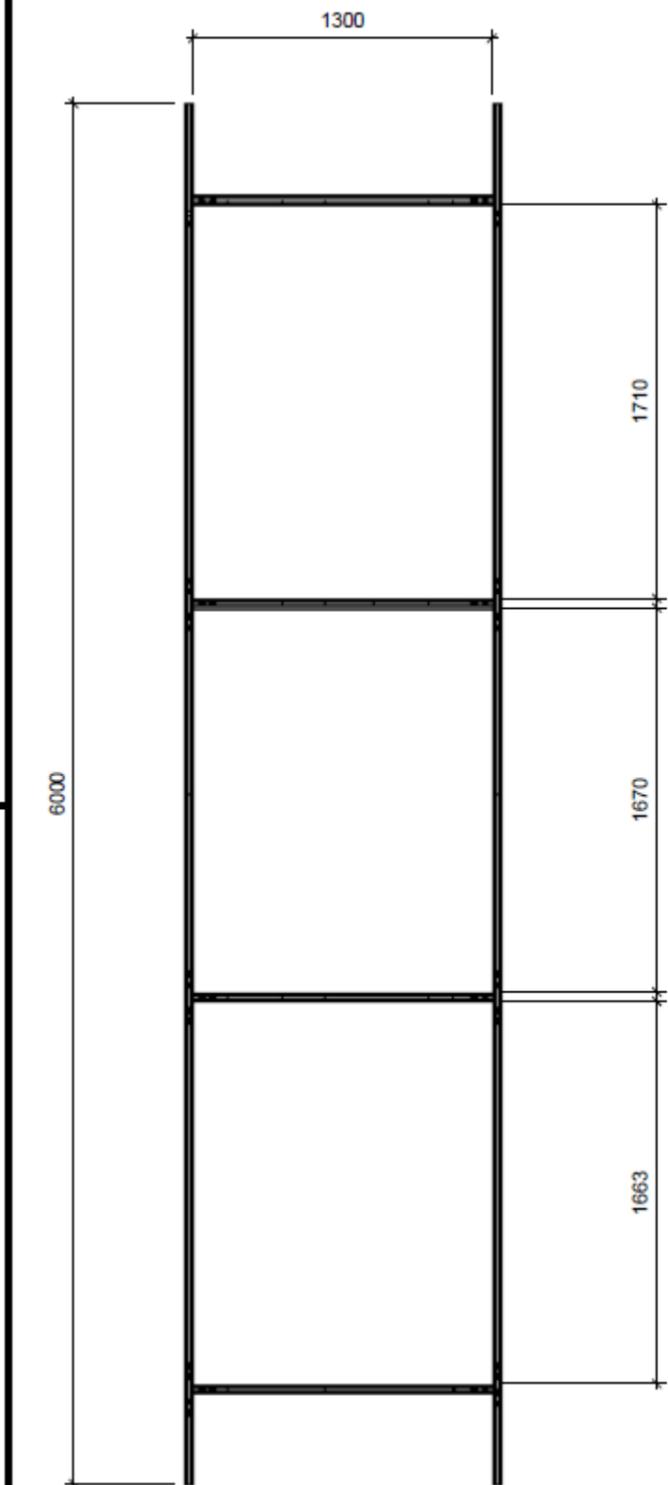


Rua do Arjo nº 27, Mirre de Tábua | 4700-565 Braga, Portugal | T: (+351) 253 305 400
 HIDROCONT - Instalações Mecânicas, Lda | Alvará nº 88856 - PUB
www.hidrocont.com

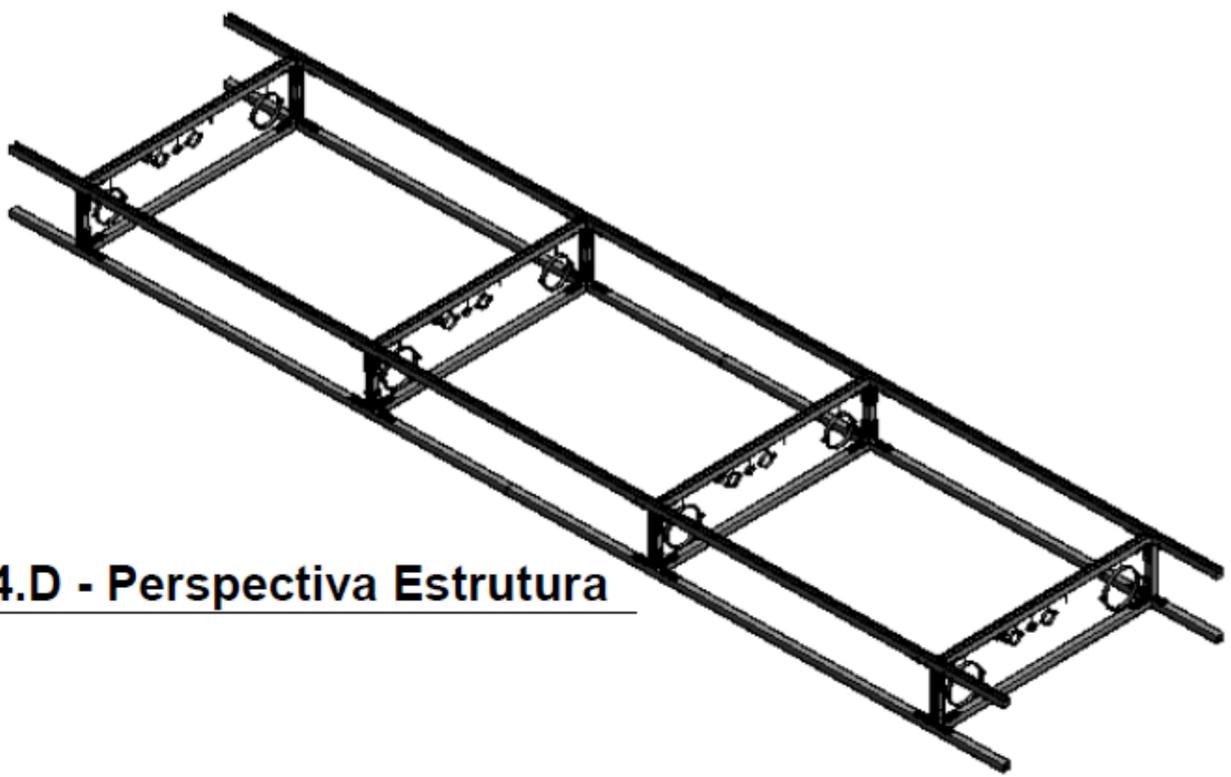
Obra:

Project Name
 Enter address here

| | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Fase: Project Status | Data: 03/04/2022 13:46:38 | Escalas: | Desenhou: Designer |
| Requerente: | | | Verificou: |
| Desenho: RH.4.D - Perspectiva | | | Aprovou: |
| Código da Obra: Project Number | N.º do Desenho: A101 | Revisão: Issue Date | |



1 RH.4.D - Planta Estrutura
1 : 25

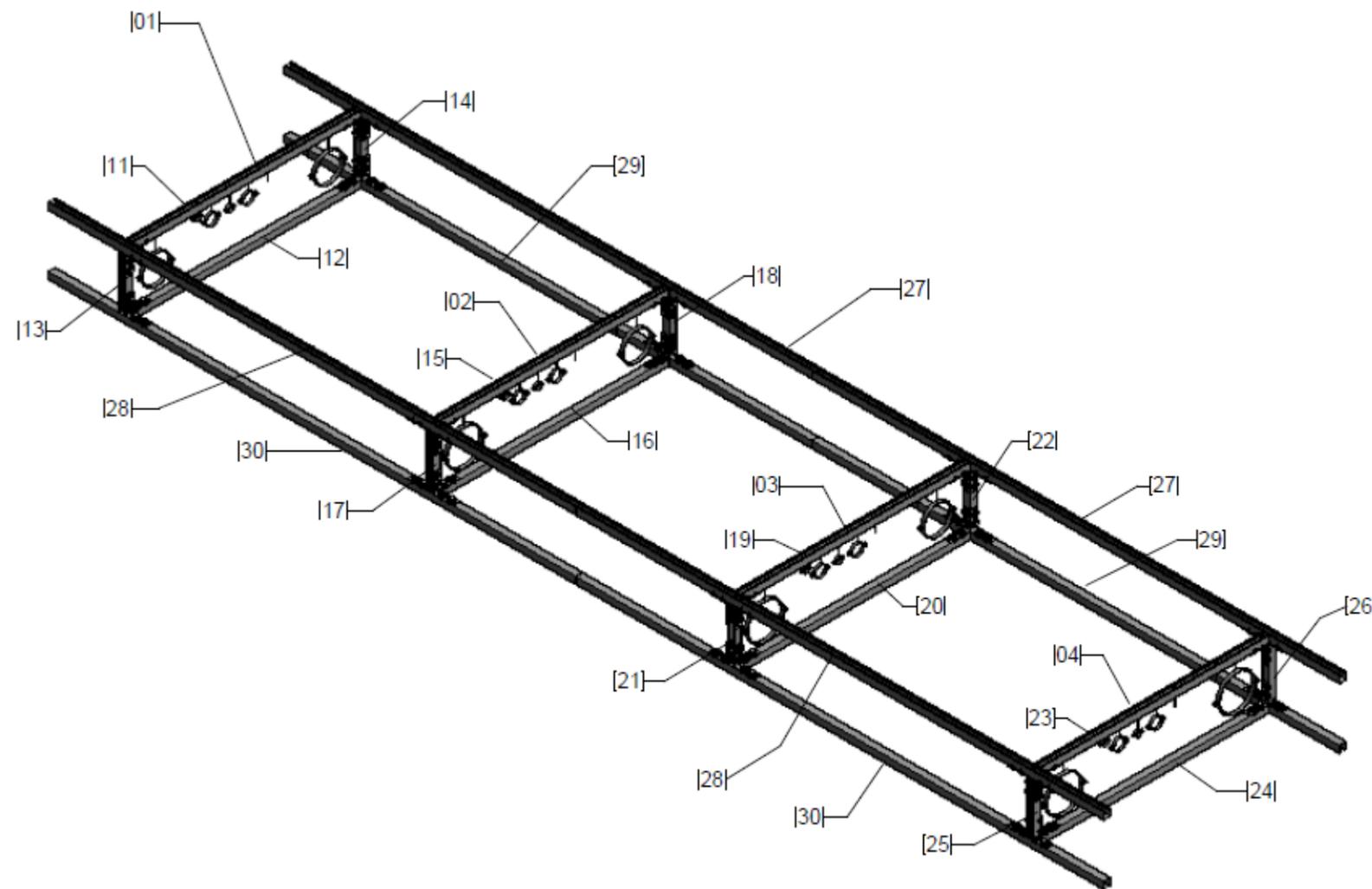


2 RH.4.D - Perspectiva Estrutura



3 RH.4.D - Alçado Estrutura
1 : 25

| | | | | |
|---|---|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| <p>Rua do Anjo nº 27, Mirre de Tibães 4700-565 Braga, Portugal T: (+351) 253 305 400 HIDROCONT - Instalações Mecânicas, Lda. Alvará nº 88956 - PUB www.hidrocont.com</p> | Fase: Project Status | Data: 03/04/2022 13:46:41 | Escalas: 1 : 25 | Desenhou: Designer |
| | Requerente: | | | Verificou: |
| Obra: Project Name Enter address here | Desenho: RH.4.D - Resumo estrutura | | | Aprovou: |
| Project Number | Código da Obra: N.º do Desenho: A102 | Revisão: Issue Date | | |

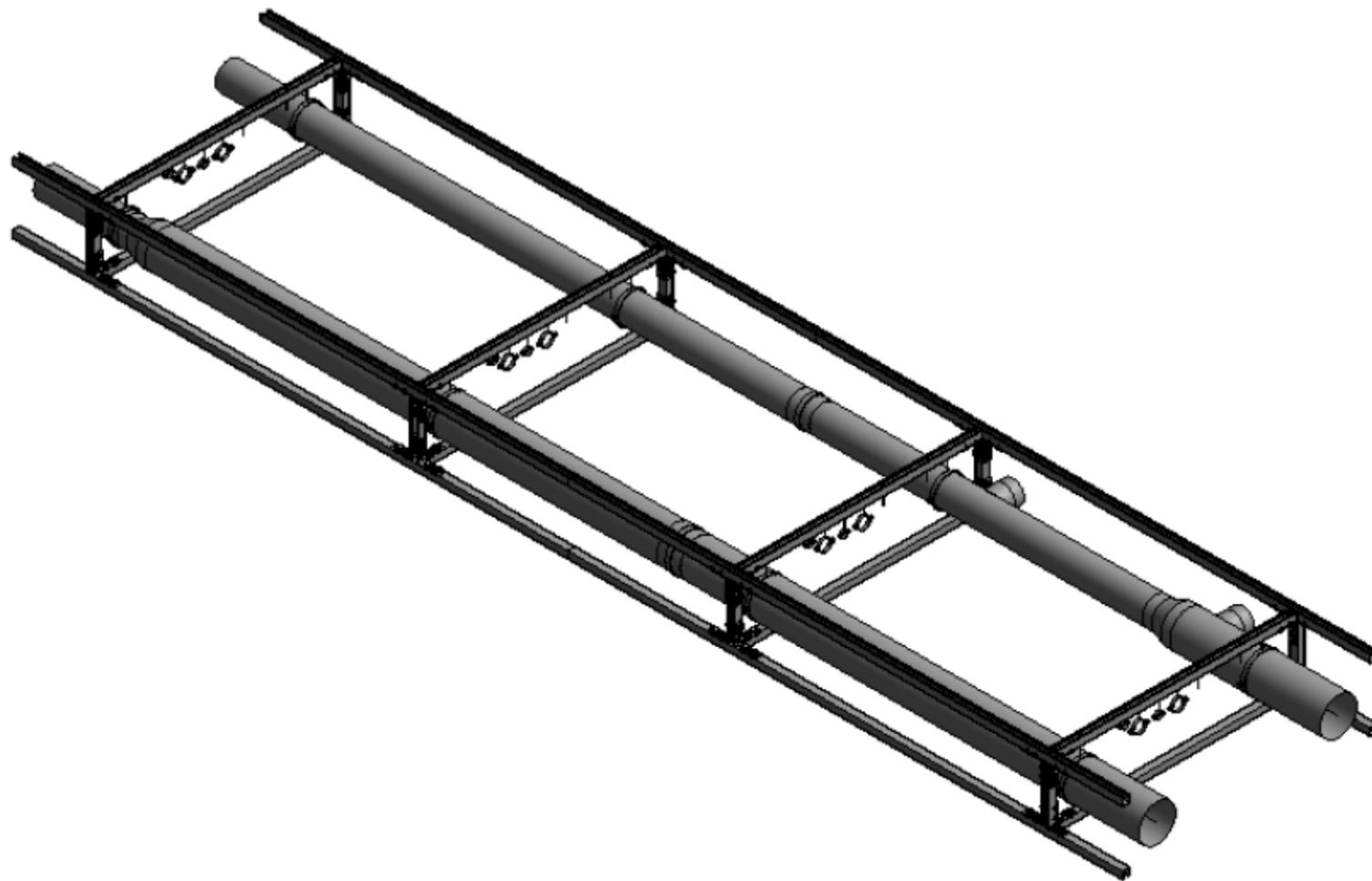


| Componentes de estrutura | |
|--------------------------|--------------|
| Key Value | Keynote Text |

| | |
|----|----------------------|
| 01 | Seccao 1 |
| 02 | Seccao 2 |
| 03 | Seccao 3 |
| 04 | Seccao 4 |
| 11 | S1.H.S.PF.41x41.1300 |
| 12 | S1.H.I.PF.41x41.1300 |
| 13 | S1.V.E.PF.41x41.300 |
| 14 | S1.V.D.PF.41x41.300 |
| 15 | S2.H.S.PF.41x41.1300 |
| 16 | S2.H.I.PF.41x41.1300 |
| 17 | S2.V.E.PF.41x41.300 |
| 18 | S2.V.D.PF.41x41.300 |
| 19 | S3.H.S.PF.41x41.1300 |
| 20 | S3.H.I.PF.41x41.1300 |
| 21 | S3.V.E.PF.41x41.300 |
| 22 | S3.V.D.PF.41x41.300 |
| 23 | S4.H.S.PF.41x41.1300 |
| 24 | S4.H.I.PF.41x41.1300 |
| 25 | S4.V.E.PF.41x41.300 |
| 26 | S4.V.D.PF.41x41.300 |
| 27 | LH.S.D.PF.41X41.3000 |
| 28 | LH.S.E.PF.41X41.3000 |
| 29 | LH.I.D.PF.41X41.3000 |
| 30 | LH.I.E.PF.41X41.3000 |

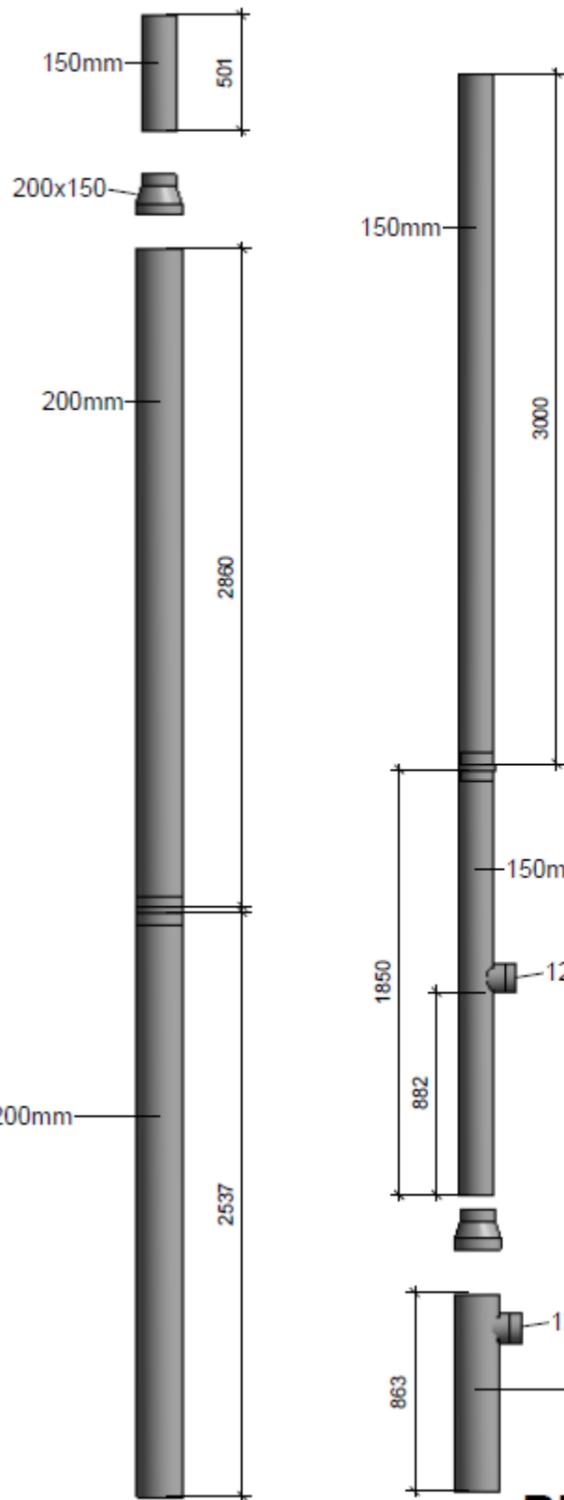
1 RH.4.D - Perspectiva Componentes estrutura

| | | | | |
|--|--|---|----------|-----------------------|
| <p>Rua do Anjo nº 27, Mirre de Tibães 4700-565 Braga, Portugal T: (+351) 253 305 400 HDROCONT - Instalações Mecânicas, Lda. Alvará nº 88856 - PUB www.hdcont.com</p> | Fase: Project Status | Data: 03/04/2022 13:46:45 | Escalas: | Desenhou: Designer |
| | Requerente: | | | Verificou: |
| Obra: Project Name Enter address here | Desenho: RH.4.D - Componentes estrutura | | | Aprovou: |
| Código da Obra: N.º do Desenho: Revisão: | | Project Number: [][][][] A103 [][] Issue Date | | |

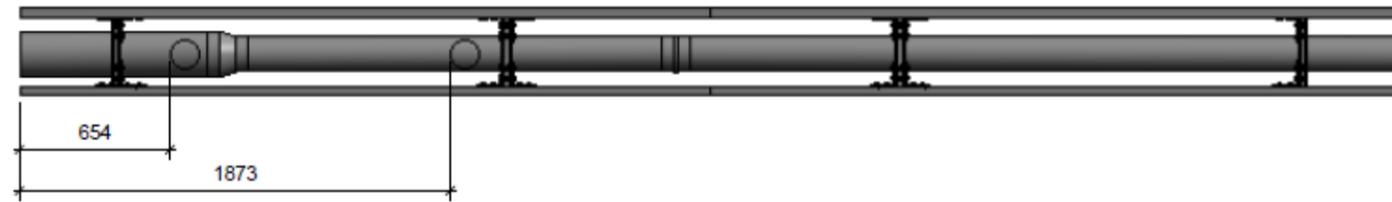


1 RH.4.D - Perspectiva Ventilação

| | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------------------|----------|-----------------------|
|  Rua do Anjo nº 27, Mirre de Tibães 4700-565 Braga, Portugal T. (+351) 253 305 400 HDROCONT - Instalações Mecânicas, Lda. Alvará nº 88856 - PUB www.hdcont.com | Fase: Project Status | Data: 03/04/2022 13:46:51 | Escalas: | Desenhou: Designer |
| | Requerente: | | | Verificou: |
| Obra: Project Name Enter address here | Desenho: Perspectiva Ventilação | | Aprovou: | |
| Código da Obra: Project Number | N.º do Desenho: 1105 | Revisão: Issue Date | | |



1 RH.4.D - Plano ventilação
1 : 25

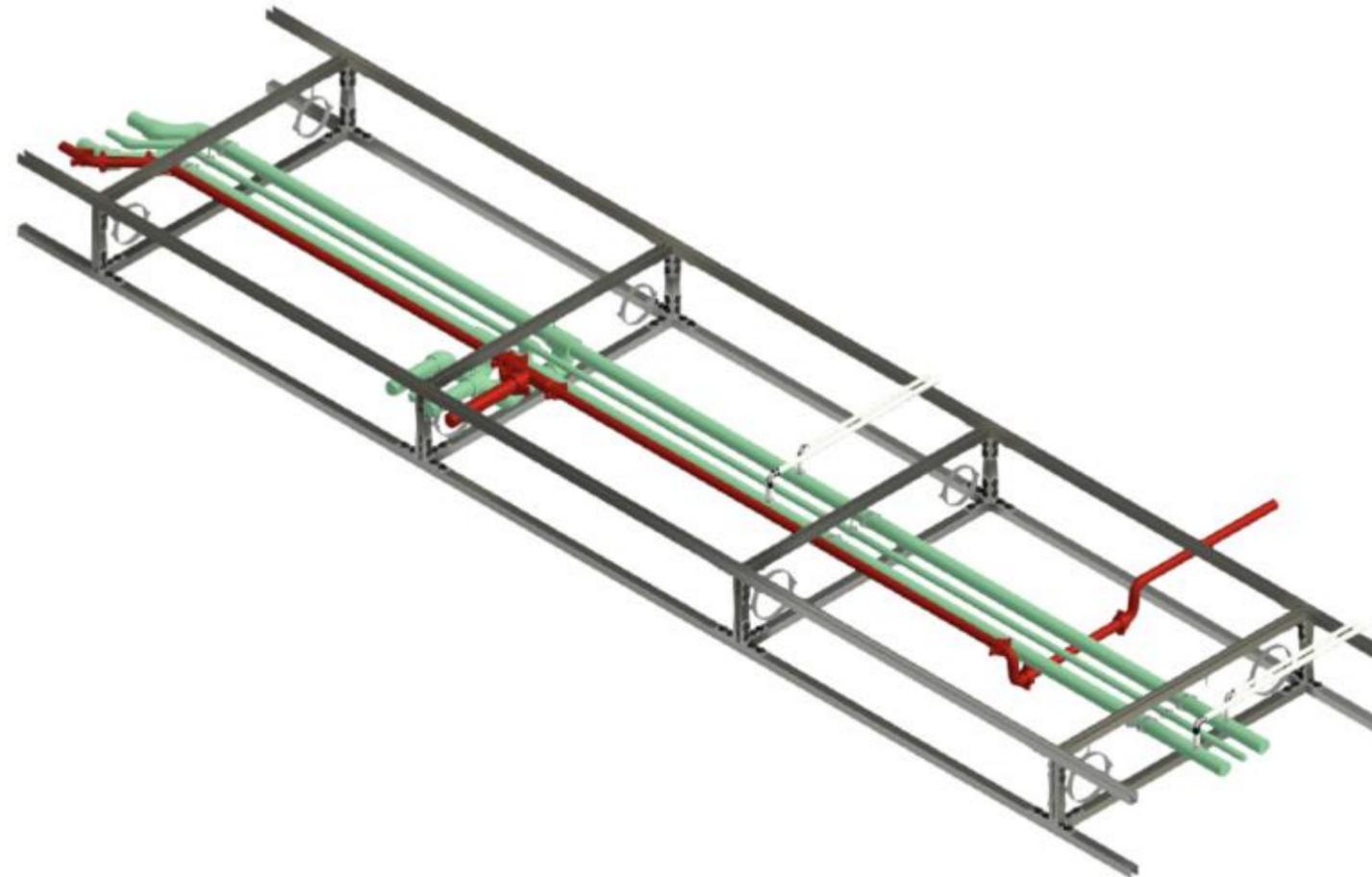


2 RH.4.D - Alçado direito Ventilação
1 : 25



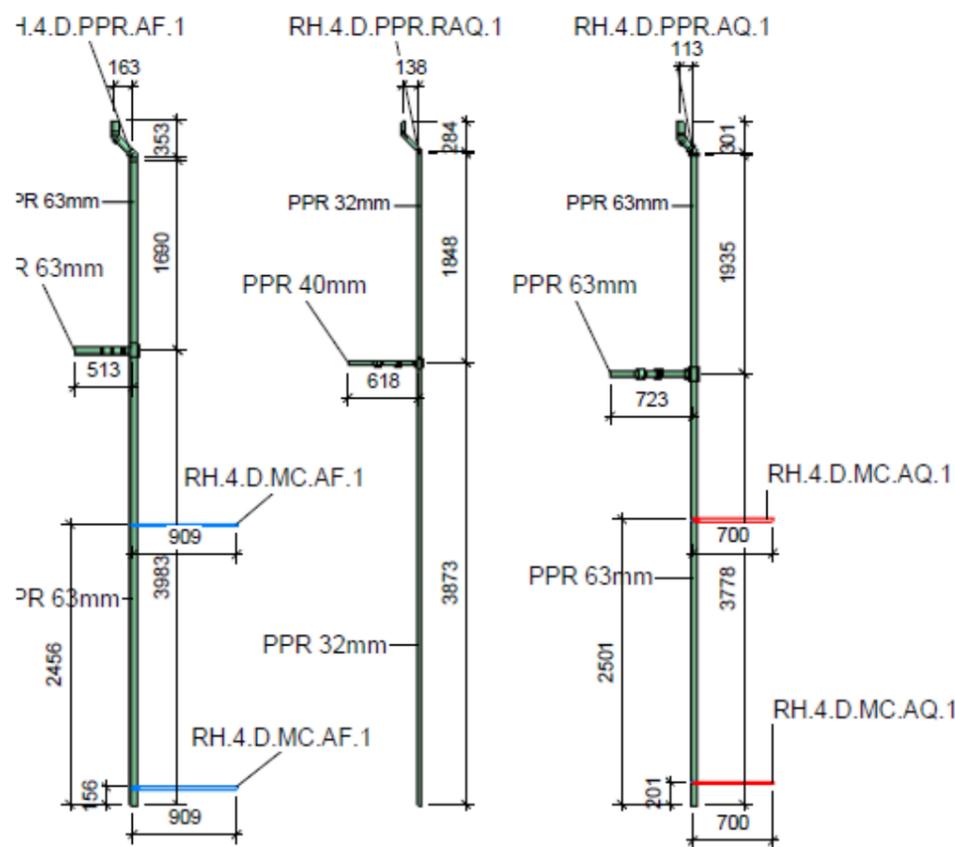
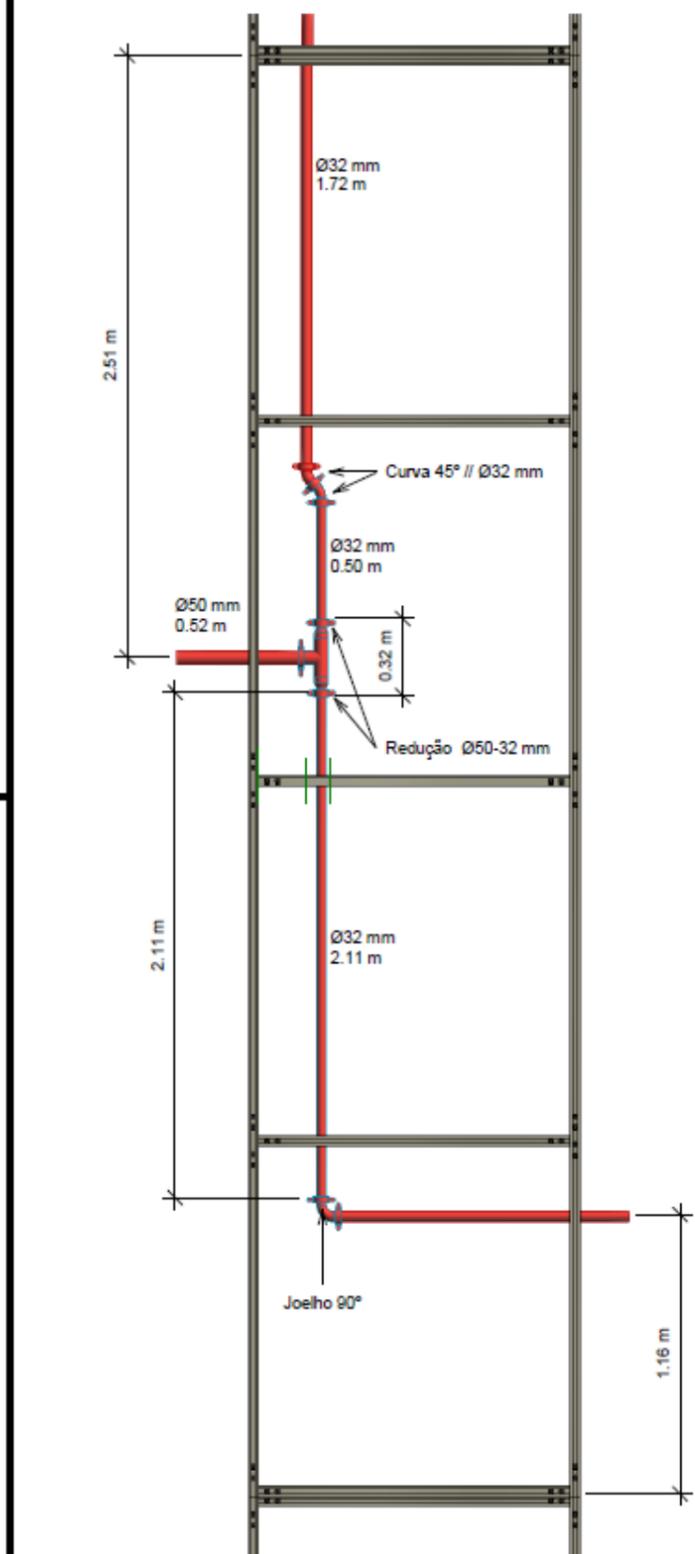
3 RH.4.D - Alçado Esquerdo ventilação
1 : 25

| | | | | |
|--|-----------------|------------------------|----------|------------|
| | Fase: | Data: | Escalas: | Desenhou: |
| | Project Status | 03/04/2022 13:46:55 | 1 : 25 | Designer |
| Rua do Anjo nº 27, Miral de Tâmes 4700-565 Braga, Portugal T. (+351) 253 305 400 HDROCONT - Instalações Mecânicas, Lda. Alvará nº 88856 - PUB www.hidrocont.com | | Requerente: | | Verificou: |
| Obra: | | Desenho: | | Aprovou: |
| Project Name Enter address here | | Planos Ventilação | | |
| Código da Obra: | N.º do Desenho: | Revisão: | | |
| Project Number | 0001106 | Issue Date | | |



1 RH.4.D - Perspectiva Hidráulica

| | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------------------|----------|-----------------------|
|  Rua do Anjo nº 27, Mirre de Tildes 4700-565 Braga, Portugal T: (+351) 253 305 400 HDROCONT - Instalações Mecânicas, Lda. Alvará nº 88856 - PUB www.hidrocont.com | Fase: Project Status | Data: 03/04/2022 13:47:00 | Escalas: | Desenhou: Designer |
| | Requerente: | | | Verificou: |
| Obra: Project Name Enter address here | Desenho: Perspectiva Hidráulica | | | Aprovou: |
| Código da Obra: Project Number | | N.º do Desenho: 7108 | | Revisão: Issue Date |



Picagens feitas na parte de cima do tubo

Cada picagem :
 1 un - Inserção PPR 63x3/4" M
 1 un - Casq. Porca louca MC 20x3/4" F
 RH.4.D.MC.AF.1 - 100cm MC 20mm
 RH.4.D.MC.AQ.1 - 80cm MC 20mm

1 RH.4.D - Planos Hidráulica
 1 : 50

| | | | | |
|--|------------------------------------|---|------------|-----------|
| <small>Rua do Anjo nº 27, Miral de Tibães 4700-565 Braga, Portugal T. (+351) 253 305 400 HIDROCONT - Instalações Mecânicas, Lda. Alvará nº 88856 - PUB www.hidrocont.com</small> | Fase: | Data: | Escalas: | Desenhou: |
| | Project Status | 03/04/2022 13:47:08 | 1 : 50 | Designer |
| Obra: | Requerente: | | Verificou: | |
| | Project Name Enter address here | | Aprovou: | |
| Desenho: | | Código da Obra: N.º do Desenho: Revisão: | | |
| Plano de hidráulica | | Project Number: <input type="text"/> A110 <input type="text"/> Issue Date: <input type="text"/> | | |

