

Industrialização de instalações de edifícios – BIM e pré-construção modular

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.26>

**Daniel Vale¹, João Pedro Mendonça¹,
Miguel Azenha¹, Miguel Pires²**

¹ *Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães*

² *Casais – Engenharia e Construção, Braga*

Resumo

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. 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 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 MEP, num trecho de um corredor de um edifício, verificando os prós e os contras deste processo construtivo.

1. 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 águas e esgotos. Os sistemas MEP representam uma parte substancial de um edifício e influenciam diretamente a sua eficiência, segurança e futuro comportamento energético. 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 problemas de interferências multidisciplinares, respeitando o projeto diversificado e respetivos critérios operacionais. 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 [1].

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 hotéis ou 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 [2].

1.1. Coordenação de projetos MEP

A coordenação MEP é um processo iterativo e baseado na experiência, necessitando de tempo e recursos humanos consideráveis. 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 restrições específicas de cada obra.

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. 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 [3], [4].

1.2. 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 [5].

2. Pré-Fabricação e Construção Modular

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 [6]. Para alguns autores, a industrialização define-se como sendo o somatório de racionalizar, mecanizar e automatizar [7]. 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 [8].

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 [9], [10]. 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 [11].

Apesar das contrariedades que a Pré-Fabricação aparenta, é visível que o principal problema da sua implementação explica-se pela inércia à mudança de mentalidade e de modelo de produção [12]. Erradamente, o preço de um módulo ainda é o critério principal para a tomada de decisões. 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 [13].

Tendo em conta as possibilidades identificadas aos processos de Pré-Construção e Pré-Fabricação, bem como as oportunidades oferecidas pelas metodologias BIM, o presente trabalho, realizado no Núcleo de Pré-Construção do Grupo Casais, focou-se num caso de estudo real de uma zona densa de redes MEP localizadas em corredor de um Hotel.

3. Caso de estudo – Desenvolvimento de um módulo de corredor

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, hidráulicos e elétricos. 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.

A modelação foi efetuada com recurso ao software *Autodesk Revit* e, 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. No caso 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 de corredor foi desenvolvido de forma iterativa, tendo-se servido das vantagens da modelação paramétrica para direcionar o modelo para o processo de produção, sistematizando as tarefas principais como listagens de material e orientações para montagem do módulo MEP.

3.1. Caracterização do empreendimento e descrição do projeto

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 Hotel dispunha de modelos BIM da Arquitetura e das Estruturas, facilitando os trabalhos aqui reportados. O projeto MEP original existente foi revisto no presente trabalho, pelo que não se volta a fazer menção ao mesmo no presente artigo (por ser obsoleto em relação ao que é apresentado).



Figura 1
Representação 3D do edifício B&B Hotel Porto Gaia.

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 hidráulico e elétrico (secção assinalada a vermelho na Figura 2). 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.

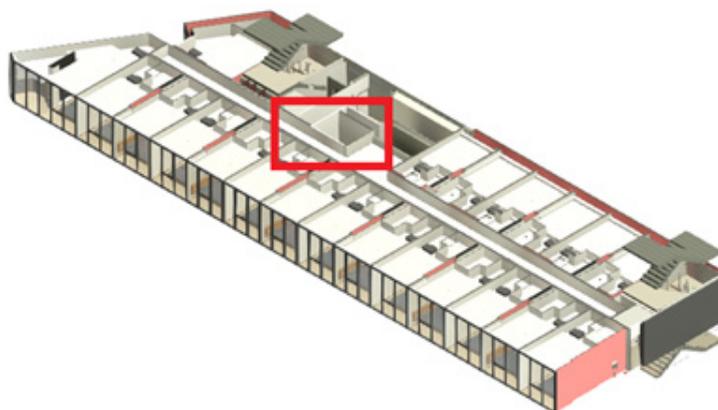


Figura 2
Piso 2 do B&B Hotel Porto Gaia. A secção assinalada a vermelho é a que foi alvo de estudo.

3.2. Dimensionamento do módulo e disposição dos constituintes de cada instalação

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.

A Figura 3 esquematiza a disposição proposta para os vários sistemas que compõem o módulo, sendo que os parágrafos seguintes providenciam a justificação para as opções tomadas.

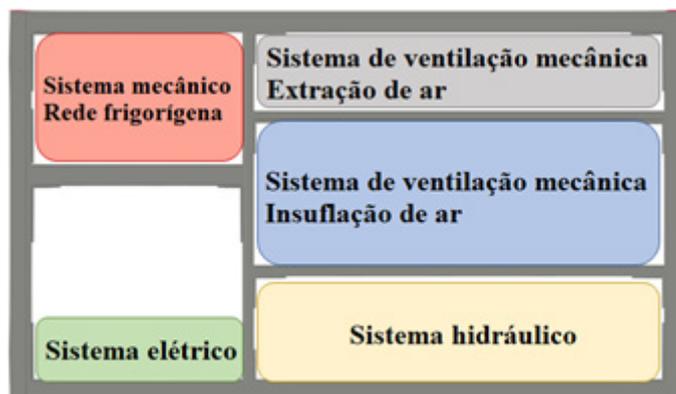


Figura 3
Esquemática da disposição dos sistemas integrantes do módulo MEP de um corredor.

No que concerne às instalações elétricas, é necessário incorporar no módulo prefabricado os caminhos de cabos (esteira) que suportem toda a cablagem, 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 para incêndio, com recurso à coluna húmida para os sprinklers e coluna seca, tornando-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.

Por se tratar dos elementos mais volumosos do *rack* e pela sua reduzida necessidade de manutenção, as condutas do sistema de ventilação são afixadas na parte superior do módulo. No que diz respeito ao sistema hidráulico, há a necessidade de direccionar as tubagens para as diversas divisões. 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. A colocação 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*. No abastecimento de água contra incêndio, face à 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.

A esteira de cabos deve ser colocada num local com fácil acesso, pois é em obra 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.

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. O *rack* é subdividido em secções a cada metro de comprimento, levando a que em determinadas situações seja imperativa a translação de alguns componentes dos sistemas ou o redimensionamento das calhas de instalação para que as interferências cessem, 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 4(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 encontrava-se na Figura 4(d), em que as condutas se encontram suspensas com recurso a varões M8 e calhas de instalação HILTI MQ-21,5.

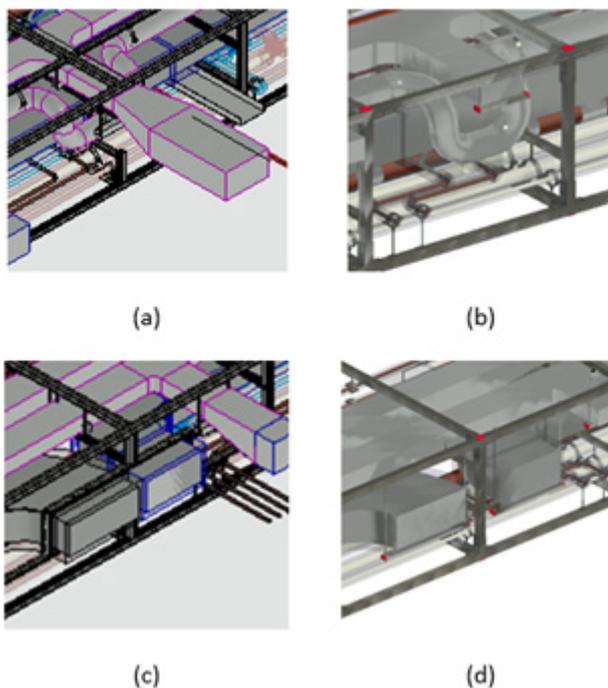


Figura 4
Pormenorização de algumas das interferências ocorridas durante a construção da estrutura do módulo. Em 4(a) e (c) observam-se conflitos identificados. Em 4(b) e 4(d) encontra-se as disposições obtidas após a resolução dos conflitos.

3.3. Construção do módulo

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 elemen-

tos 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.

Para análise e seleção do tipo de perfil ideal, criaram-se duas estruturas metálicas distintas para o módulo MEP: uma com recurso a componentes direcionados para a Pré-Construção e Construção Modular, fazendo uso dos sistemas de calhas de instalação e ligadores metálicos disponibilizados pela HILTI, e outro utilizando perfis de secção transversal quadrada, os denominados tubos FACAR. Para a modelação da primeira solução fez-se uso de objetos paramétricos e na segunda houve a necessidade de criação de uma classe/família de perfis.

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, na solução HILTI. 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 5 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 5 encontra-se o módulo desenvolvido com recurso aos componentes HILTI.

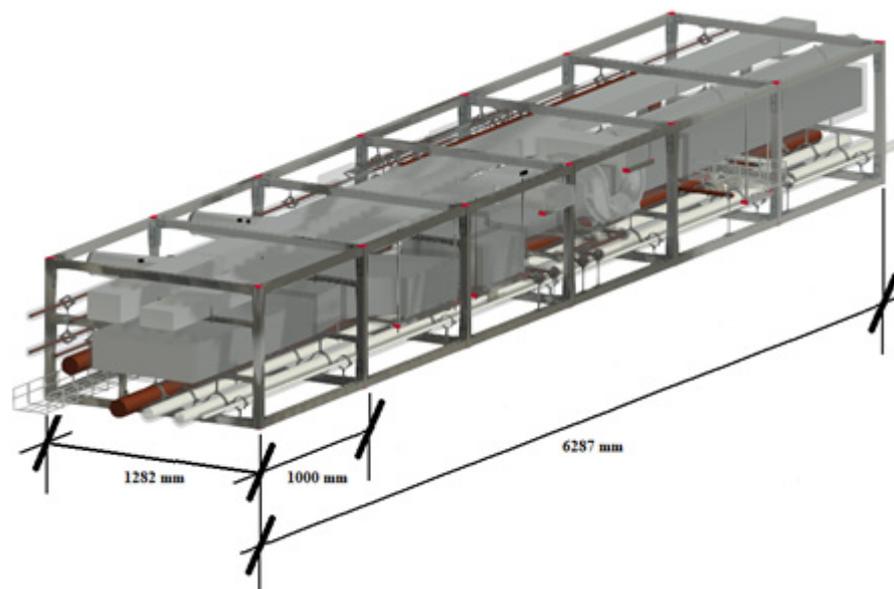


Figura 5
Módulo MEP
desenvolvido com
recurso a componentes
HILTI.

O modelo direcionado 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.

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-Construção.

No que diz respeito ao *rack* construído com os componentes HILTI, face à facilidade de manuseio e montagem 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, hidráulico e elétrico. 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.

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 vigas transversais. 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.

Na Figura 6 compara-se o custo de aquisição e de montagem da estrutura do módulo MEP. Como é possível verificar, a utilização de calhas direccionadas para a pré-fabricação tem um custo elevadíssimo, mesmo com um desconto empresarial de 40%. No que diz respeito à solução que faz uso de tubo FACAR, verifica-se que o principal gasto a união metálica efetuada por soldadura, como seria de esperar. 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.

Para além da montagem da estrutura do módulo MEP, existem custos associados à montagem dos componentes dos diversos sistemas MEP, que não foram considerados tendo em consideração 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).

Retira-se assim que, embora a solução que recorre a perfis metálicos de secção transversal quadrada 40x40x2 mm apresente um custo de produção inferior à solução que faz uso de perfis HILTI direccionados para a Pré-Construção Modular, o tempo de montagem e preparação do *rack* é significativamente superior, face aos processos de soldadura e furação do tubo FACAR.

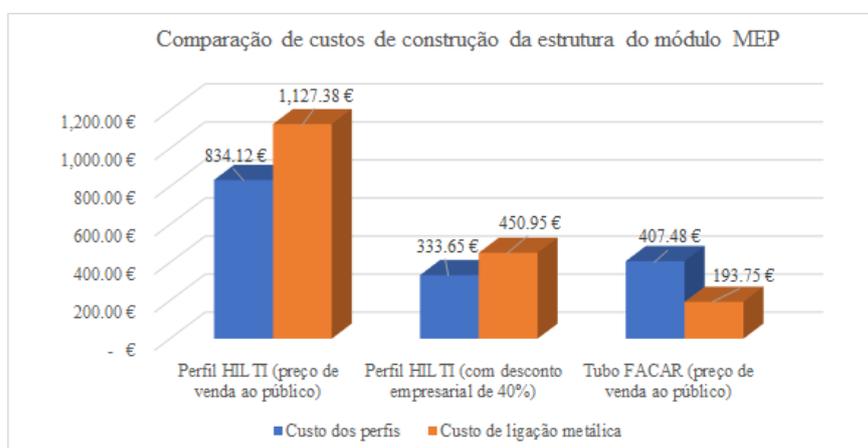


Figura 6
Comparação de custos de construção da estrutura do módulo MEP.

3. Considerações finais

O presente artigo 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 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 potencializem a criação de módulos automaticamente, sem que haja a necessidade destes serem desenvolvidos manualmente, como foi o caso. Ademais a verificação automática/assistida permite ao engenheiro responsável antecipar e prevenir erros na fase precoce de Pré-Construção.

Este processo poderá, no futuro, ser automatizado com recurso 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*.

Contudo, 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 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. Contudo, 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.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), sob a referência UIDB / 04029/2020.

Referências

- [1] 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”, *Adv. Eng. Softw.*, vol. 100, pp. 215-230, 2016, doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.07.006.
- [2] 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, [Online]. Available: <http://www.fct.unl.pt>.
- [3] G. Lee and J. W. Kim, “Parallel vs. Sequential cascading MEP coordination strategies: A pharmaceutical building case study”, *Autom. Constr.*, vol. 43, pp. 170-179, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.03.004.
- [4] A. Nekouvaght Tak, H. Taghaddos, A. Mousaei, and U. (Rick) Hermann, “Evaluating industrial modularization strategies: Local vs. overseas fabrication”, *Autom. Constr.*, vol. 114, no. May 2019, p. 103175, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103175.
- [5] 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).
- [6] P. D. M. da Silva, “Aplicação de Técnicas BIM à Construção Modular com Painéis Sandwich”, pp. 1-126, 2012.
- [7] R. E. M. Leite, “Métodos Construtivos de Edifícios – Comparação entre Pré-Fabricação e Armado,” pp. 1-175, 2015, [Online]. Available: https://www.google.com/l?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjmh9vlsI_LAhVxSxUI-HanqC1QQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fpdfs.semanticscholar.org%2F9891%2F5850b1cb32671900d8f1dcf6669fe2feca3c.pdf&usq=AOvVaw0gc44eEE5qTRy6Rg6pqlBch.
- [8] C. Chastre, “Construção, inovação e Pré-Fabricação em betão”, *Construção Mag.*, vol. 88, no. Novembro/Dezembro, pp. 59-61, 2018.
- [9] S. Jang, “Comparative analysis of multi-trade prefabrication construction methods”, *J. Asian Archit. Build. Eng.*, vol. 17, no. 3, pp. 503-509, 2018, doi: 10.3130/jaabe.17.503.
- [10] S. Jang and G. Lee, “Process, productivity, and economic analyses of BIM-based multi-trade prefabrication – A case study”, *Autom. Constr.*, vol. 89, no. March 2017, pp. 86-98, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2017.12.035.
- [11] S. Hoover, P. Trombitas, and E. Cowles, “Prefabrication: The changing face of engineering and construction”, 2017 FMI/BIMForum Prefabr. Surv., p. 43, 2017, [Online]. Available: https://www.fminet.com/wp-content/uploads/2017/02/PrefabricationSurvey_2017.pdf.

- [12] O. Lavikka, R., Chauhan, K., Peltokorpi, A., & Seppänen, “Fostering prefabrication in construction projects – case MEP in Finland”, J. Karlshøj, R. Scherer, vol. Proceeding, no. eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, pp. 273-280, 2018.
- [13] T. S. Overview, K. Findings, and I. Tools, “Modularization and Offsite Assembly (Best Practice)”, no. Figure 6, pp. 1-5, 2017.