

BIM em projeto para manufatura e montagem na indústria AECO 4.0: metodologia para a otimização e automação da produção de paredes divisórias

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.18>

**Tiago Santos¹, Bruno Figueiredo²,
Miguel Pires³, Pedro Carneiro⁴**

¹ *Universidade do Minho, Guimarães*

² *Escola de Arquitetura, Arte e Design da Universidade do Minho,
Lab2PT, Guimarães, 0000-0001-8439-7065*

³ *Grupo Casais, Braga*

⁴ *Grupo Casais, Braga*

Resumo

A integração de conceitos de Projeto para Manufatura e Montagem (Design for Manufacturing and Assembly - DfMA) na indústria AEC potencia-se pelo recurso a ferramentas BIM. DfMA considera os meios de produção e montagem no momento de desenvolvimento de um produto, ou projeto, na sua otimização.

Este artigo foca-se numa investigação que desenvolve metodologias de DfMA em para processos de pré-fabricação, a serem aplicados em projetos em curso e de projetos futuros. Propõe-se o recurso a Modelos de Informação da Construção (BIM) e a modelos computacionais para a definição de um sistema de montagem e fabricação de paredes divisórias, otimizando os recursos de produção existentes pela maximização do número de elementos pré-fabricados idênticos, e ainda, pela integração de um sistema de gestão de dados que articula o momento de fabrico e montagem em obra.

O processo de DfMA proposto neste trabalho recorre a programação visual em Dynamo, uma API do Revit, para implementar uma metodologia de divisão e disposição espacial das paredes, que se articula automaticamente com uma base de dados. Neste contexto, apresenta-se a aplicação de um sistema de otimização de fabricação e montagem para paredes divisórias de um determinado compartimento, neste caso casas-de-banho devido às repetições e elementos pré-fabricados.

Introdução

Segundo o Pordata o setor da construção na Europa sofreu uma perda de 20% da mão-de-obra desde a crise financeira de 2008, enquanto a população ativa cresceu. Portugal perdeu cerca de 40% das pessoas ativas na construção. A Tabela 1 representa as perdas no setor da construção em Portugal e a União Europeia a entre 2008 e 2020. Este fenómeno acentuou-se com a crise pandémica, cujas limitações e afastamento social resultaram numa maior dificuldade na operabilidade no setor. A produtividade da construção está diretamente relacionada com o quão eficiente, rápido e economicamente um edifício pode ser construído.

Sectors	Total		Construção	
	2008	2020	2008	2020
Ano				
União Europeia 27	193 164 600	197 153 600	15 967 000 (8%)	12 840 000 (6%)
Portugal	5 116 600 (2,6%)	4 814 100 (2,4%)	539 600 (10%)	297 100 (6%)

Tabela 1
Total emprego comparado com o setor da construção (fonte: NACE Rev.2).

A pré-fabricação poderá ser uma solução para o problema apresentado, envolvendo a produção em fábrica de componentes construtivos, eventualmente de média dimensão – elementos estruturais, para posterior transporte e montagem em estaleiro de obra. O desenvolvimento tecnológico atual, a redução de custos de projeto, calendarizações mais curtas, a melhor qualidade construtiva e uso mais eficiente de mão de obra e material, são alguns dos fatores de maior relevância para a adoção deste processo. Contudo, a implementação está limitada às especificações construtivas, e na apropriação deste processo por parte dos arquitetos e engenheiros, cuja falta de informação e especialização retarda a aplicação.

A pré-fabricação é uma opção que deve ser tomada de raiz, pois afeta todas as fases da construção, dificultando possíveis alterações em fases mais avançadas do projeto. As ferramentas BIM introduzem instrumentos capazes de melhorar as decisões do projeto, correlacionar as partes do projeto, extrair custos e quantidades dos elementos, assim como, automatizar processos de pré-fabricação. Para além disso, o envolvimento dos vários *stakeholders* de um projeto, desde a sua fase inicial permitirá reduzir erros e proporcionar a informação necessária para proceder a melhores decisões projetuais.

BIM quando aplicado às atividades de fabricação e partilha de informações, melhora a transição para a pré-fabricação. Durante a gestão da pré-fabricação, considera-se novas etapas no processo que tem impacto significativo, precisando de ser abordadas: fabricação, armazenamento e transporte. Esses processos, além dos existentes (projeto, construção, operação), exigem comunicação, tecnologias e ferramentas eficazes para melhorar a cooperação, controlando e gerindo todo o processo cronometricamente.

Como refere Kuzmanovska et al. [1] os processos de DfMA consideram uma combinação entre um conjunto de diretrizes de projeto e uma metodologia de avaliação e otimização do projeto relativamente ao modo como este é produzido.

Implementação de DfMA utiliza processos de pré-fabricação na arquitetura, desenvolvendo uma metodologia projetual onde as partes do edifício serão subdivididas em peças e produzidas de forma eficiente e racionalizada. A operacionalização do projeto para a exploração, otimização de materiais, calendarização de entregas ou gestão no local, permite maximizar a produtividade. A transição para DfMA consiste num processo de otimização iterativa com base em detalhes predefinidos, aplicado após as suas características formais, tais como, o projeto ou as partes estruturantes, estarem consolidadas para serem aplicadas na obra.

O desenvolvimento de componentes pré-fabricadas para DfMA é um processo que transforma a informação em projeto. As funcionalidades que as ferramentas BIM introduzem podem maximizar a produção de peças pré-fabricadas com a análise das componentes fabricáveis. Desta forma, a primeira etapa passa por definir um conjunto de componentes e compreender a relação com BIM, quer pela relação com a biblioteca BIM, quer pela informação contida dentro da família. Após realizada esta análise é possível transformar esta informação desenho ou modelo contendo as diretrizes relativas para a montagem destas peças.

Caso de estudo

O tema principal deste artigo visa um processo de implementação de DfMA em paredes divisórias. O objetivo parte da automatização do processo de produção de informações e desenvolvimento de metodologias, para aplicar como um método orientado a projetos que não precisam de ser desenvolvidos em torno da pré-fabricação.

O processo de trabalho para a produção de paredes divisórias parte do corte das pelas e montagem, para posteriormente serem montadas, o transporte e entrega no estaleiro de obras. Desta forma, a investigação, focou-se em compartimentos mais repetidos e com um grande número de peças semelhantes ou iguais, que permitem a padronização desejada em DfMA, é exemplo disto, as paredes divisórias das instalações sanitárias. Para desenvolver um novo método de trabalho, foi utilizado um caso de estudo de um projeto habitação coletiva com cinco andares, que contém aproximadamente 500 instalações sanitárias. As instalações sanitárias são compartimentos complexos no edifício, por causa das infraestruturas sanitárias e mobiliário sanitário, o que torna DfMA uma melhoria para produtividade em termos de colaboração neste espaço. No entanto, o desenho de casas de banho lida não só com a disposição dos móveis de casa de banho, mas também com os dados infraestruturais, como o sistema de canalização que passa entre as paredes e o facto de existirem variações múltiplas da casa de banho em função das dimensões. Tornando-se, portanto, uma prioridade na automatização usando BIM.

O grande número de instalações sanitárias, fez com que o interesse em adotar pré-fabricação fosse prioritário para maximização da produtividade e redução de custos. Contudo, o projeto original possuía diferentes variações de tipologias de instalações sanitárias e várias que eram únicas, desta forma, foi necessário desenvolver um processo de serialização utilizando BIM e a linguagem de programação visual Dynamo, disponível numa interface de programação de aplicações do Revit, para reduzir o número de tipologias IS e detetar quais a tipologias que mais se repetem.

O número de paredes divisórias existentes nas instalações sanitárias está diretamente relacionado com o número de elementos individuais dentro dela. Elementos como sanita, bidé e lavatório são componentes que serão replicados várias vezes, no entanto, uma vez que estão dependentes da organização espacial, formam grupos de paredes diferentes, mediante a disposição do espaço. Posto isto, caso os elementos se encontrem na mesma parede serão agrupados e pré-fabricados como uma parede, precisam ser montados em um grupo de paredes para fazer parte da parede tipo banheiro. Para cumprir essa função, a parede precisa ser dividida em três partes.

1. Perfis – Perfil metálico cria a estrutura da parede.
2. Painel estrutural – Fixa aos perfis e cria o suporte para toda a canalização de cada elemento e para todo o sistema no interior da instalação sanitária
3. Painel de acabamento – Fixado geralmente no sentido oposto ao do painel estrutural, contém todo o material de acabamento.

O processo de fabricação desenvolvido define componentes pré-fabricados para cada elemento existente na instalação sanitária. A única diferença está no elemento lavatório, já que ele pode ter especificações diferentes do fabricante, o que pode levar a diferentes variações de encaixe. O elemento porta é um componente com dimensões especificadas que une e faz o remate entre espaços. No entanto, quando a parede contém uma porta de correr, esta precisa de correr entre as paredes divisórias e principalmente, não colidir com nenhuma componente estrutural ou redes de saneamento.

O sistema de parede divisória para banheira e chuveiro faz parte de um único grupo, com acabamentos diferentes de modo a prevenir infiltrações nas juntas. A banheira e o lavatório são um conjunto composto por um sistema de parede ligado por um canto comum que liga todos os lados onde se cruzam. A solução passa por uma parede dobrável, que pega esses elementos e conecta nos cantos e depois reúne todas as laterais do banho como um conjunto único para ser mais fácil de transportar até o local.

Para detetar cada tipologia, definiu-se um modelo computacional de deteção de elementos para que as paredes que constam no modelo possam ser distinguidas mediante diversos tipos de características. A partir de um processo que desenvolve um conjunto de ferramentas e parâmetros rastreáveis, o código ou o modelo computacional permite detetar as diferentes variações de instalações sanitárias que existem dentro do modelo. Todos os elementos que são criados para o DfMA devem definir um código de modo a se poder organizar a informação e aceder a ela.



Figura 1
Exemplo parede
pré-fabricada.

Otimização do modelo BIM para DfMA

O objetivo principal foi definir uma estratégia de otimização de projeto que automatizasse o processo de serialização de instalações sanitárias. Com o recurso a um modelo BIM, o processo foi realizado utilizando o caso de estudo onde se procurou encontrar uma estratégia e metodologia para testar a automatização e estandardização. Para maximizar a produção, o processo foi dividido em três etapas: Interoperabilidade IFC, Desenvolvimento de Tipologias e Criação de Sub-tipologias.

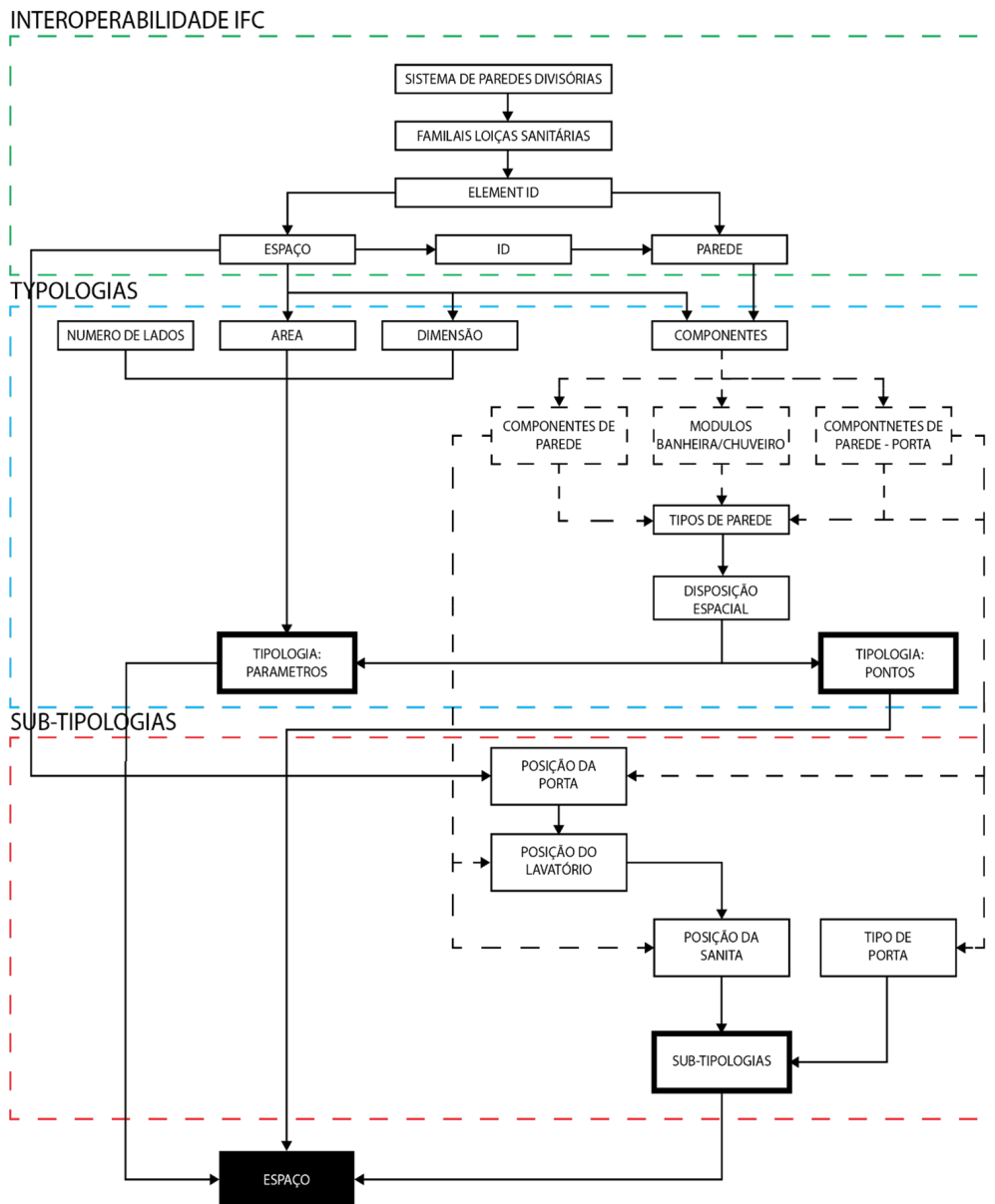


Figura 2
Metodologia desenvolvida para aplicar DfMA em paredes divisórias das instalações sanitárias.

Interoperabilidade IFC

A primeira função no modelo parte de transformar os dados existentes, preparando-os para o processo de DfMA pretendido. Para tal, será criado um novo modelo BIM, que funcionará de forma autónoma a partir do Modelo de Referência. Uma vez que, este novo arquivo funcionará apenas para DfMA, as alterações e informações que precisam ser adicionadas devem ser aplicadas apenas ao novo arquivo. É importante reduzir a informação do modelo ao essencial destes espaços, pois muitas operações precisam ser realizadas para se chegar ao resultado.

Para preparar as informações e todos os detalhes para trabalhar a informação que consta no modelo, foi gerada o grupo de família com LOD 200 de todas as peças sanitárias. A forma simplificada destas famílias facilita o controlo da posição das

louças sanitárias com as paredes, normalmente em ângulos retos, criando ângulos retos, que serão posteriormente analisados e ajudarão a tomar decisões adicionais no modelo. Os blocos referentes à banheira e ao chuveiro são tipos de famílias independentes que, ao contrário de todos os outros componentes, não são famílias situadas na parede.

A primeira etapa consistiu no desenvolvimento de um processo para geração automática das paredes interiores a partir do perímetro interno do espaço. Ao exportar o IFC como um arquivo conectado, o volume do espaço, que é uma representação do seu interior, define um limite independentemente das paredes circundantes, portas ou quaisquer outros elementos do edifício. As duas famílias de elementos da banheira e do chuveiro possuem diferentes peças e sistema de montagem em comparação com os outros, atribuindo a tarefa extra de cortar a linha da parede para que estas possam trabalhar autonomamente. Após produzir as paredes divisórias, os componentes BIM que são conectados às paredes interiores, necessitam de ser novamente alojados numa nova parede, uma vez que estes deixam de existir quando a base deixa de existir.

A próxima etapa é uma das mais úteis no controle e rastreamento de todo o processo para DfMA, principalmente em manter a localização dos elementos não só no procedimento, mas no local. Um modelo BIM pode incorporar códigos de identificação de objetos (ID). Em ambiente de trabalho Revit esse código é denominado de "element ID", uma vez associado a um objeto permite a detecção e exportação dos seus dados como parâmetro, tornando um dado útil durante o DfMA e nos processos de montagem e transporte.

A fase seguinte passa por relacionar o "element ID" das paredes e dos espaços, para que contenham em cada um deles, o código referente ao outro como um dos parâmetros. Esta etapa é essencial, pois os dois elementos não estão conectados entre si. A importância deste método centra-se na localização das paredes em cada espaço, permitindo aumentar a informação de cada componente ao utilizá-la para controlar e tomar decisões. Esta etapa é importante para gerar a codificação para fabricação e montagem. Os códigos que desenvolvidos nesta fase são relevantes para a compilação de dados sobre os quais os parâmetros podem ser usados para relacionar as várias características formais, tornando-os úteis para o processo geral de troca de informações. Este conjunto de etapas são dependentes umas das outras. Assim, começa a surgir uma otimização do processo porque se desenvolve dentro do mesmo ambiente de programação.

Tipologias

Automatizar o mapeamento das tipologias é a parte principal desta investigação, pois auxiliará à definição dos tipos de instalações sanitárias para DfMA. Este processo tem múltiplas formas de ser alcançado, não só porque existe um certo número de parâmetros que precisam ser desenvolvidos, como também é necessário encontrar uma combinação para alcançar o resultado. O maior problema era como entender e

detetar a disposição das instalações sanitárias e como esta afeta a tipologia. Desta forma, após reduzir a pesquisa às instalações sanitárias é necessário serializar por várias tipologias em grupos que se assemelham, de modo a mapear elementos repetidos para subsequente processo de standardização e fabrico.

O primeiro passo é identificar a posição dos elementos nas instalações sanitárias e desenvolver um identificador único para cada tipo. No entanto, a posição às vezes pode ser hipotética, onde as mais pequenas variações podem resultar em divergências. Em DfMA, quanto mais agrupada estiver a informação melhor, e nesta situação, o código precisa ir além do parâmetro e precisa definir um tipo diferente de parede, definido pela posição física dos elementos em relação na casa de banho.

Um ponto importante é o modo de detecção dos espaços que são instalações sanitárias: devem conter sanita e lavatório. Aos quais poderão acrescentar os componentes do bidé e banheira/chuveiro, assensores que a completam. Existe uma relação entre os elementos e o tipo de casa de banho, uma vez que em espaços menores deverá existir um menor número de elementos do que em espaços maiores.

A ideia deste processo é compreender a disposição espacial dos elementos e considerar a relação entre eles, uma vez que em DfMA os elementos que existem no interior da sala podem ser iguais, mas produzidos de forma diferente, como também podem conter paredes iguais e não pertencer à mesma tipologia. Após entender os requisitos mínimos, o processo passa pela transformação das paredes que contém os elementos em diferentes tipos, de acordo com o seu conteúdo. Assim, será possível entender a relação dos vários elementos e a sua disposição. Como tal o processo funciona pela detecção dos elementos em relação à parede que está alojado e os elementos que a intercetam no caso da cabine de duche/banheira.

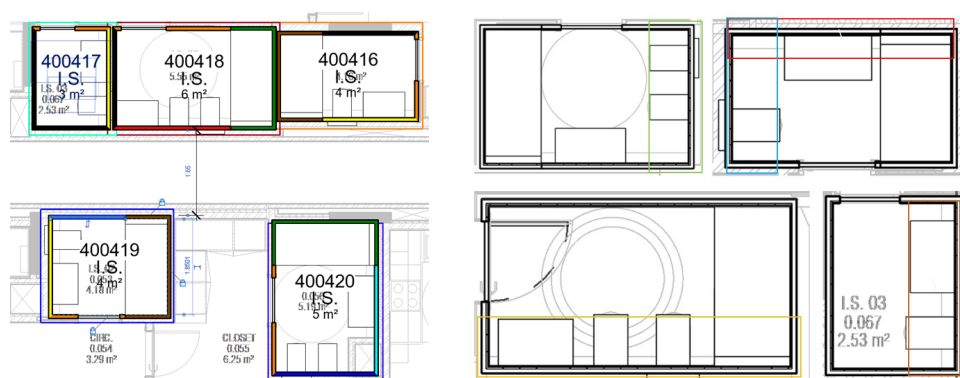


Figura 3
(esquerda): Variações dos tipos de paredes no modelo.

Figura 4
(direita): Disposições possíveis das componentes sanitárias detetadas no modelo.

A figura 3 ilustra a transformação do modelo em vários tipos de paredes e a figura 4 a relação dos objetos detetada no modelo assim, a partir deste grupo de paredes é possível distribuir os vários tipos não só pela relação que têm com os elementos, mas também pelo seu contexto no espaço. Assim, o princípio para conectar este processo no seu contexto geral parte por detetar o número combinações das paredes que existem dentro de um compartimento e combinar com outros parâmetros para

definir as tipologias. Para tal, esta disposição será definida em parâmetro para combinar com outros para atingir este resultado.

Adquirindo e atribuído o número de disposições diferentes nas respectivas instalações sanitárias, a próxima fase passa por compreender qual a relação do espaço com a disposição interior. Para tal, é essencial compreender a relação direta que os elementos contêm e como compreender de que forma a espacialidade afeta a disposição. A forma de resolver essa relação parte pela sobreposição dos elementos em relação ao mesmo eixo, onde a distância maior será representada num único eixo e a menor noutro. A sobreposição realizada vai criar um conjunto de interceção e vai procurar aglomerar os vários pontos em grupos por proximidade, estes vão estabelecer relações de distância entre eles.

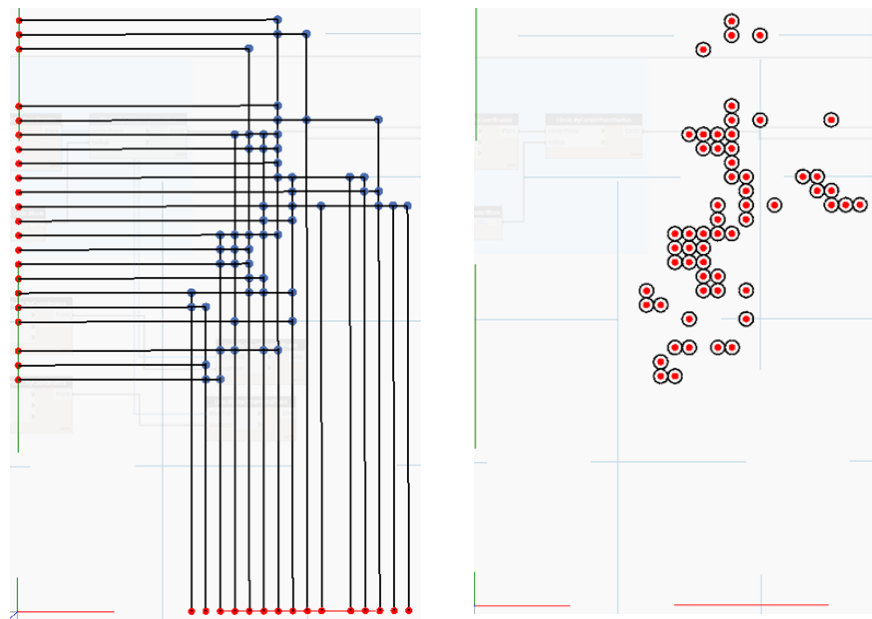


Figura 5
Compilação das
várias instalações
sanitárias (esquerda)
e aglomeração por
interceção de pontos
(direita).

A figura 5 representa os vários compartimentos alinhados no eixo e depois as interceções pela proximidade dos elementos, este resultado aglomerou todas as instalações sanitárias e compilou-as em um número menor de elementos. Posto isto, usando o parâmetro da disposição desenvolvido anteriormente, é possível desempatar as diferenças e compreender as variações que existem entre cada compartimento.

Uma vez que o número de tipologias é uma abordagem genérica para as várias instalações sanitárias que existem no edifício, a próxima etapa é levar este passo em DfMA mais longe, detetando quais são as diferenças na disposição do compartimento, que os torna únicos em comparação com outros grupos. Um dos pontos mais importantes a reter em DfMA é que mesmo que o espaço tenha a semelhante tipologia a parede pode ser diferente, este princípio está assente na ideia de montagem dos elementos, assim, é necessário compreender não só as a relação das paredes com o espaço, mas dos elementos com a parede. Tendo em consideração todas as tipologias que foram criadas durante este processo, é necessário detetar outras relações entre

os elementos através de um código que possa ligar os elementos e depois dividi-los em múltiplos subgrupos.

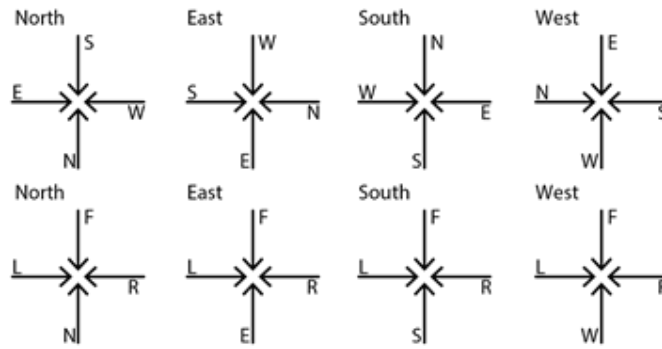
Sub-tipologias

A relação entre as componentes e a parede é algo que se correlaciona com as peça da montagem, dado que o processo de montagem tem consequência direta na seriação das tipologias. Consequentemente, o próximo processo agrupará estes elementos por deteção dos mesmos, em relação ao seu eixo, recolhendo informações que formalizarão um grupo de sub-tipologias.

A criação de sub-tipologias das instalações sanitárias inicia-se pela verificação da disposição espacial do compartimento, considerando a direção dos eixos x e y . Para tal, o eixo de correlação entre porta e o lavatório ditará, não só a direção da sala, mas a localização do lavatório em relação à porta, normalmente localizado em frente à porta de entrada. A relação com os elementos será criada através dos tipos de paredes que contêm portas e lavatórios, permitindo desenvolver uma relação entre os elementos e a localização com os restantes.

A última parte do processo combina as coordenadas cartesianas com o uso dos eixos x e y , devido ao software não conseguir detetar o ângulo da relação dos dois elementos selecionados. Posteriormente, não deteta o ângulo de rotação dos elementos, para detetar a posição relativa dos elementos, comprovando que o uso do ângulo não transmite a informação adequada, pois o resultado mostra os ângulos em 0, 90 e 180 graus.

Dado que os ângulos não fornecem informações suficientes, o processo criado funciona extraíndo dois vetores, o vetor em x e o vetor em y , estes dois vetores fornecerão uma lista com valores iguais a -1, 0 e 1. Levando em consideração as coordenadas cartesianas a coordenada (0,0) representa o ponto central, então o ponto (-1,0) e (1,0) representam o eixo x , se x for positivo o elemento do quarto está voltado para a direita, x positivo move-se para a direita e se for negativo, move-se para a esquerda. Assumir esta representação e converter em pontos carteseanos quando o elemento está voltado para o lado certo está voltado para Este, e quando voltado para a esquerda está voltado para Oeste, ao fazer este processo na porta do compartimento, dita a posição espacial deste em relação à entrada. Este processo pode ser aplicado ao Norte quando y (0,1) for positivo e ao Sul quando y (0, -1) for negativo como a figura 4 demonstra.

**Figura 6**

Relação dos elementos entre o eixo de coordenadas e a posição física.

A próxima etapa passa por detetar a forma como os elementos estão distribuídos em relação ao lavatório, isto significa que vai detetar qual a direção que os elementos serão montados em relação com a parede. Assim, foi necessário definir a relação entre os elementos do lavatório e da sanita, detetando em que posição se encontra não só em relação com o lavatório, mas na composição geral dos compartimentos, aplicando o mesmo processo do anterior. Após deteção das posições dos elementos é possível criar um parâmetro que irá conter as sub variações das paredes.

Depois de obtida a informação em relação às tipologias, as sub-tipologias não abarcam a resposta formal para toda as variações, embora a combinação dos dois reforça esta seleção. O uso das informações desenvolvidas atendendo aos parâmetros contribui para a deliberação de decisões em relação a todos os objetos que estão a ser indicados para DfMA, assim a chave para a otimização passa por transformar a informação para que auxilie e contribua na decisão de quais elementos devem ou não ser pré-fabricados

Conclusão

Todas as informações fornecidas e analisadas no decorrer desta investigação foram desenvolvidas e geradas pelo recurso dos parâmetros criados no modelo BIM. A vantagem das combinações dos parâmetros estará limitada a nuances no que são as variações, embora o pretendido passa não por replicar o mesmo protótipo várias vezes consecutivamente, mas de automatizar e standardizar o maior número de elementos possíveis dos compartimentos, abrangendo também as paredes. Em suma, DfMA tem muito potencial quando implementado através de métodos de BIM. Durante o estudo todas as informações analisadas e desenvolvidas foram importantes para ter um amplo conhecimento de como cruzar e colaborar para alcançar um processo de projeto e construção mais eficiente, econômico e sustentável. Como a indústria de AECO está sempre em evolução, os resultados deste trabalho são um pequeno passo na implementação do DfMA em BIM e também uma contribuição para desenvolver um processo metodológico para estruturar a gestão da informação e a mudança para a construção pré-fabricada.

Agradecimento

O primeiro autor agradece a bolsa de mestrado proporcionada pelo Mestrado Europeu em BIM A+ 2020/2021 financiado pela União Europeia. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Laboratório de Paisagens, Património e Território (Lab2PT), sob a referência UIDB/04509/2020. Esta investigação foi proposta e realizada em colaboração com o Grupo Casais que proporcionou recursos e abertura no seu decorrer.

Referências

- [1] Kuzmanovska, I. and Aitchison, M., “DfMA in Building Design and Construction: Uses and Abuses” (2019).
- [2] Santos Tiago, “BIM in Design for Manufacturing and Assembly: Bridging the gap in AECO Industry 4.0”. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2021.
- [3] Smith, R. E. and Rice, T., “Permanent modular construction: Construction performance” (2017). Offsite Architecture: Constructing the Future.
- [4] Yin, X. et al. “Building information modelling for off-site construction: Review and future directions” (2019). *Automation in Construction*, 101, pp. 72-91.