

# MANUAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE TECNOLOGIAS NA REABILITAÇÃO URBANA 4.0

OS DESAFIOS E AS SOLUÇÕES NA REABILITAÇÃO URBANA 4.0

# **2022**

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciência e Tecnologia

Centro de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Civil e Qualidade

# COM A COLABORAÇÃO

Universidade de Aveiro

Universidade do Minho

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto







Cofinanciado por







# CAPÍTULO 4 - TECNOLOGIAS NA REABILITAÇÃO URBANA 4.0

# 4.1 Pré-fabricação e construção modular

# 4.1.1 Os conceitos de pré-fabricação e de construção modular na reabilitação

A industrialização da construção pressupõe o desenvolvimento da pré-fabricação e da construção modular.

A construção modular consiste na utilização de dimensões estandardizadas que se repetem no edifício. Muitas vezes essas dimensões estão associadas às dimensões de produção dos materiais utilizados.

A pré-fabricação consiste em transferir a produção do local da obra para outro local, procedendo-se depois à sua montagem final. A construção pode, ainda assim, ser customizada à obra sem a necessidade de alterar o projeto. Em algumas áreas da construção esta transformação já aconteceu, como na carpintaria e serralharia. Hoje em dia estas especialidades trazem para a obra o produto final, já pronto e acabado. Existem diversas empresas nacionais que produzem em Portugal e montam obras de carpintaria e serralharia em todo o mundo.

# 4.1.2 Soluções já existentes no mercado/aplicadas em obra ou em desenvolvimento

• Reuso de contentores metálicos – Utilização em ampliações em planimetria e altimetria.



Figura 4.1 - Empresa especializada em construção modular à base de contentor metálico

• Construção modular de madeira, ou híbrida madeira/ betão armado — Utilização em ampliações em planimetria e altimetria.



Figura 4.2 - Exemplo de casa modular de madeira (CASADIFF)





Figura 4.3 - Ampliação em altura em madeira





Figura 4.4 - Sistema CREE do Grupo Casais

Construção modular de elementos autónomos – Utilização na criação de novos espaços,
 ou subdivisões de espaços no interior de espaços.

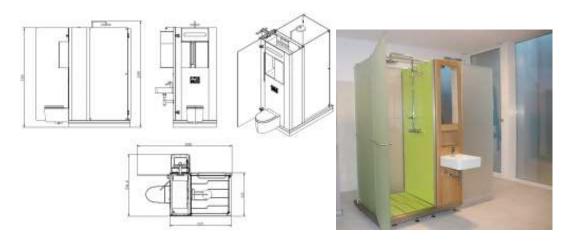


Figura 4.5 - Mobak – WC modular da OLI – Sistemas sanitários

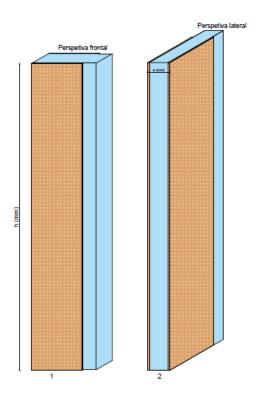


Figura 4.6 - Parede sandwich modular em desenvolvimento pela Universidade de Aveiro em conjunto com a OLI – Sistemas Sanitários SA

 Soluções pré-fabricadas/modeladas de elementos singulares – Utilização na substituição de elementos degradados ou criação de novos elementos.



Figura 4.7 - Paredes de frontal a integrar em construções tradicionais de alvenaria e madeira

# 4.1.3 Vantagens e inconvenientes das soluções

Tratando-se de soluções concebidas e dimensionadas em gabinete e pré-produzidas/modeladas em fábrica, incorporam uma maior industrialização na execução dos elementos que permite:

- Uma utilização mais sustentável dos materiais com menor desperdício;
- Mão-de-obra focada numa ou em poucas tarefas, permitindo o recurso a mão-deobra menos especializada;
- Melhores condições de conforto, higiene e segurança no trabalho;
- Um maior controlo e qualidade do produto final;
- Soluções mais limpas e rápidas de implementar em obra.

Assim sendo, a pré-fabricação e a construção modular permitem e promovem intervenções tendencialmente mais reversíveis, aspeto particularmente importante quando se lida com edificado com valores especiais a preservar. Em contrapartida, em particular em construção modular mais standard, são soluções menos preparadas para a customização.





Figura 4.8 - Ponte pedonal pré-fabricada em GLULAM. Exemplo de estaleiro de obra "limpo". Arcos seccionados aos terços para possibilitar transporte da oficina para o local da obra

Em suma, as vantagens possibilitadas pela pré-fabricação e pela construção modular resultam numa maior produtividade no setor e impulsionam o desenvolvimento da Construção e da Reabilitação 4.0.

#### 4.2 Impressão 3D e Manufatura Aditiva

#### 4.2.1 Os conceitos de Impressão 3D e de Manufatura Aditiva

Um dos principais desafios urbanos com que atualmente nos deparamos é a crise habitacional. No final de 2021 observou-se uma tendência para o aumento dos preços na habitação a nível mundial, com consequências muito significativas nas condições de vida dos mais vulneráveis. Paralelamente, aumentam também as preocupações com a proteção ambiental que todos devemos contribuir para a sua preservação. Assim, arquitetos e engenheiros enfrentam dias particularmente desafiadores com a necessidade imperiosa de explorar novos métodos, materiais e tecnologias que conduzam a projetos mais sustentáveis e económicos sem comprometer a viabilidade técnica.

Neste contexto, a manufatura aditiva (Additive Manufacturing – AM) pode ser uma importante alternativa tecnológica para a mudança de paradigma na Indústria 4.0. Já teve impacto em vários setores de atividade, como a saúde, o aeroespacial, o automobilístico, o militar, ou a moda e, mais recentemente, chegou ao setor da construção e da reabilitação.

Considerada uma das mais inovadoras tecnologias para a produção de peças de alta complexidade, a AM tem vindo a caracterizar-se por uma franca expansão, essencial para diversas indústrias, simplificando o processo de transformar um modelo 3D para um produto acabado. Ao contrário dos processos de fabricação tradicionais, que são processos que assentam na produção de moldes para fabricar um produto em quantidades necessárias, a AM possibilita o fabrico de componentes ou objetos em três dimensões por meio de um modelo digital (Schwab, 2016).

A AM permite fabricar peças ou componentes com geometrias complexas (que são difíceis de concretizar utilizando técnicas da construção tradicional), sem necessidade de ferramentas específicas e gerando muito menos resíduos, ultrapassando, assim, um problema associado aos outros processos de fabricação convencionais (Delgado Camacho et al., 2018). Outra potencialidade muito evidente é a capacidade de diminuir a quantidade de recursos humanos e, consequentemente, os custos associados.

Ao contrário dos bens manufaturados produzidos em massa, os produtos ou componentes impressos em 3D podem ser facilmente personalizados e ajustados às particularidades existentes. As restrições ainda existentes em relação ao tamanho, custo e produtividade serão progressivamente superadas (Schwab, 2016).

A tecnologia AM tem vindo a registar um significativo progresso e uma ampla gama de utilizações em variadíssimas indústrias, incluindo a existência de várias aplicações experimentais na indústria da construção, muito embora a sua implementação tenha vindo a ser mais lenta principalmente devido às grandes escalas envolvidas e à complexidade física e química dos materiais usados.

Existem diversos materiais a ser utilizados para impressão 3D na indústria de construção. O mais utilizado atualmente é o betão, embora também já exista a experiência com utilização de metais e polímeros. De facto, a impressão cimentícia de construção 3D, ou impressão 3D de betão, é uma forma de manufatura aditiva usada para fabricar edifícios ou componentes de construção com formas completamente novas e inovadoras, que não eram possíveis anteriormente com os processos de betonagem tradicionais.

#### 4.2.2 Impressão 3D para a Construção

O método de AM mais difundido na indústria da construção é a impressão 3D de compósitos de base cimentícia (extrusão). A principal vantagem deste processo é claramente a possibilidade de concretização de um design mais livre, sem necessidade de cofragens. Também a maior produtividade, os custos reduzidos, a melhoria das condições de segurança no local de trabalho, aliados aos benefícios ambientais que a economia de materiais e redução de resíduos trazem a esta tecnologia, são vantagens adicionais que devem ser levadas em linha de conta. Além de ser usada em edifícios complexos e extravagantes - como os protótipos da Sagrada Família de Gaudí - a tecnologia tem sido continuamente testada no setor habitacional.

De facto, em 2021, muitos projetos habitacionais foram construídos recorrendo à impressão 3D. Por exemplo, a primeira habitação totalmente impressa em betão na Europa (Figura 4. 9), foi construída nos Países Baixos (T2 com 94 m²).







Figura 4.9 - A primeira casa totalmente impressa em 3D na Europa, Eindhoven, nos Países Baixos

Fotos - Epa / Rob Engelaar

A investigação por alternativas mais amigas do ambiente, relativamente aos materiais cimenticios, tem sido outra frente de ação para a impressão 3D, existindo já iniciativas nessa direção. Uma colaboração entre a equipe de Mario Cucinella Architects (MCA) e a WASP, especialistas em impressão 3D na Itália, resultou na primeira construção impressa em 3D utilizando um material totalmente natural, reciclável e neutro em carbono: terra. O protótipo circular, designado por TECLA (a junção das palavras Technology e Clay, em português, Tecnologia e Argila), foi construído em Ravenna em 200 horas recorrendo a várias impressoras 3D sincronizadas para trabalhar ao mesmo tempo (ver Figura 4.10).



Figura 4.10 - Primeira construção em impressão 3D com materiais naturais

Todavia, a utilização corrente da impressão 3D na construção de edifícios é ainda um grande desafio. O desenvolvimento tecnológico da impressão 3D como um método de construção inovador envolve cada vez mais a cooperação nacional e internacional, instituições de ensino e indústria.

# 4.2.3 Vantagens e desafios da Impressão 3D

São necessários esforços conjuntos para agilizar o método de construção da impressão 3D, abordando questões de importância imediata para a comunidade técnica e para a indústria, tais como utilizar materiais disponíveis localmente para impressão, estabelecer uma base racional para o projeto de edifícios impressos, bem como aplicar novos procedimentos de controlo de qualidade, certificando o produto final. Estas são questões fundamentais para tornar a impressão 3D uma tecnologia mais prática, ecológica, económica e amplamente aceite pelos intervenientes da indústria da construção e reabilitação. Na tabela 4.1 sistematizam-se os

principais desafios para a impressão 3D como método de construção, bem como as potenciais vantagens.

Tabela 4.1 - Vantagens potenciais e desafios para a impressão 3D na Construção

Vantagens	Desafios
Redução de custos (mão de obra, cofragem, materiais)	Materiais aptos para impressão 3D (printability, buildability, extrudability)
Diminuição do prazo	Modelação numérica de modo a prever as propriedades dos elementos impressos com geometrias diversas
Redução de acidentes de trabalho e de doenças profissionais	Controlo de qualidade, preferencialmente com métodos não destrutivos, com monitorização em tempo real desde a produção
Maior liberdade de escolha de formas e geometrias	Investimento tecnológico
Otimização de secções dos elementos construtivos	Rugosidade da superfície
Redução dos resíduos de construção	Planeamento digital amplamente automatizado
Diminuição da energia incorporada nos edifícios	Formação técnica
Redução de ruído "in situ"	Altura limitada do edifício
Aptidão para ambientes hostis, por exemplo, em locais afetados por desastres naturais, zonas de guerra ou locais inóspitos	Regulamentação específica

Atualmente algumas empresas e centros de investigação têm investido no desenvolvimento de diferentes projetos, com diferentes escalas, recorrendo à tecnologia da Impressão 3D, demonstrando o potencial desta nova tecnologia de construção. As capacidades de automação, alinhadas com a potencial redução de custos e da pegada ecológica, bem como a possibilidade de conceber elementos com geometrias complexas, tornam a Impressão 3D numa ferramenta apelativa para a construção civil. No entanto, sendo uma tecnologia relativamente recente e, por isso, ainda num estado embrionário em Portugal, urge a necessidade de unir esforços entre a comunidade científica, técnica e a indústria para erguer a impressão 3D como técnica de construção corrente.

#### 4.3 Construção Autónoma

# 4.3.1 O Conceito da automação na construção

A automação constitui um método que permite facilitar o trabalho ao executar tarefas de maneira automática, podendo ser aplicado em diferentes aspetos e vertentes relacionados com as diversas atividades e processos empresariais.

Este termo é também entendido como um sistema que emprega processos automáticos que comandam e controlam os mecanismos para seu próprio funcionamento. A palavra automação tem origem do grego *autômatos*, que significa mover-se por si só ou que se move sozinho.

A automação faz uso de técnicas computadorizadas e/ou mecânicas com o objetivo de dinamizar e otimizar todos os processos produtivos dos mais diversos setores da economia. A ideia de automação está diretamente ligada à ideia de máquinas, que agilizam as tarefas quase sempre sem a interferência humana.

Para criar um sistema de controlo e automação, é necessário conhecer um processo de ponta a ponta, devendo-se, para isso, mapear todo o processo e assim decidir quais as partes que podem e devem ser automatizadas de acordo com as necessidades dos processos ou atividades.

Com o controle e automação inteligente poder-se-á transformar e melhorar todos os tipos de processos e atividades, tanto os simples quanto os complexos, o que auxiliará as empresas a alcançar índices produtivos e competitivos melhores.

A colaboração entre o homem e a máquina tornar-se-á mais otimizada, possibilitando a melhoria dos processos e impulsionando a sua eficiência e produtividade. Em consequência estaremos também com capacidade de usar e gerir melhor os dados, o que se refletirá em melhores resultados nos projetos e empreendimentos, particularmente se forem associadas às potencialidades de novas tecnologias, como por exemplo a IA (Inteligência Artificial) e a IoT (Internet of Things - Internet das Coisas).

Um método conhecido de automação na construção é a Additive Manufacturing (AM) ou Manufatura Aditiva, em português, particularmente traduzida na impressão 3D. Como referido no ponto anterior, a impressão 3D consiste na criação de um objeto físico através de impressão, camada sobre camada, de um modelo ou desenho digital em 3D.

#### 4.3.2 Breve historial da introdução da automação na indústria da construção

Embora alguns possam pensar que o uso da robótica na construção corresponde a uma novidade e a um novo desenvolvimento, a verdade é que trata da continuação do processo de desenvolvimento e implementação da automação na construção que se verifica desde há décadas.

Quase sempre a automação aparece associada a uma transformação que passa também pela mecanização e digitalização dos processos, visando dotar os processos envolvidos na indústria de construção de um nível de industrialização maior, permitindo assim dar resposta às necessidades e requisitos que o sector da construção há muito tem vindo a evidenciar, e por conseguinte possibilitar tirar partido das vantagens produtivas e competitivas inerentes às indústrias caracterizadas por elevados níveis de industrialização.

Desde o século passado que se registaram diversas tentativas de industrializar a construção, como foi o caso da "Sears Modern Home", um catálogo e um conjunto de componentes para construção de casas, vendidos pela empresa Sears, Roebuck and Company por correspondência. Assim como também o caso das casas denominadas Lustron (Lustron Homes), que são casas préfabricadas em aço, desenvolvidas após a Segunda Guerra Mundial nos Estados Unidos da América do Norte, em resposta à escassez de habitações. Essas casas eram transportadas por vagões ferroviários e montados no local (AUTODESK, 2019).

No final dos anos 70 e 80 assistiu-se a um período importante de desenvolvimento impulsionado pela indústria, particularmente no Japão. Enfrentando receios de uma escassez de mão-de-obra, não somente devido ao envelhecimento da população, como também aos jovens trabalhadores que migravam para indústrias de alta tecnologia (receios ainda hoje relevantes), várias empresas japonesas, como Shimizu Corporation e Takenaka Corporation, investiram em automação e robótica na construção, com grande resultado. Desenvolveram robôs e dispositivos controlados remotamente, utilizados para todos os tipos de tarefas, incluindo manuseamento de materiais, escavação, colocação de betão, acabamento de betão, aço estrutural, acabamento interior e exterior, terraplenagem, bem como sistemas integrados de automação de construção e casas pré-fabricadas.

Embora muitas destas tecnologias não tenham sido amplamente adotadas, incorporaram com sucesso técnicas desde a fabricação até a utilização das construções. Hoje, as melhorias em robótica, software e organização permitiram o surgimento de uma nova onda de automação na

construção, com novos desenvolvimentos em resultado de colaborações entre as universidades, governos e indústria.

No entanto, estudos mostram que nas últimas décadas o setor está estagnado em todo o mundo, pois não foi capaz de acompanhar a evolução geral neste domínio. Diferentemente de outros setores, a indústria de engenharia e construção tem retardado a adoção de novas tecnologias e a implementação de uma grande transformação no domínio tecnológico (Gerbert et al., 2016).

Embora as ferramentas de design e gestão digital, como a introdução e generalização do BIM, já estejam relativamente bem desenvolvidas e tenham sido cada vez mais comercializadas, ainda são escassos os meios de fabricação digital e automatizada na atividade corrente da indústria de construção.

Com um forte reforço neste domínio naturalmente que o fluxo contínuo de dados do planeamento digital para a construção totalmente automatizada marcaria qualitativamente um importante novo nível de tecnologia, dando um significativo contributo para alcançar a chamada Indústria da Construção 4.0.

Como o betão ainda é dominante na construção contemporânea, e como não se espera que isso mude nas próximas décadas, a digitalização e automação da construção em betão devem merecer a maior prioridade por parte dos interessados.

Neste contexto, o reforço da utilização da Manufatura Aditiva, deve também merecer uma forte aposta dado o seu elevado potencial para diminuir os custos de mão de obra, para reduzir o desperdício de material e para possibilitar a criação de geometrias complexas e personalizadas que são difíceis de alcançar usando técnicas convencionais de construção.

As aplicações iniciais de AM na indústria da construção começaram a aparecer no final dos anos 90, mas após décadas observa-se ainda uma utilização insuficiente desta tecnologia. Algumas das razões estão relacionadas com fatores como a resistência à introdução de mudanças num setor altamente tradicional, baixa industrialização dos processos de construção, baixa colaboração e interoperabilidade de dados e altos níveis de rotatividade, que originam dificuldades de implementação de novos métodos e processos de trabalho (García de Soto et al., 2018).

Todavia, apesar destas dificuldades, que precisam de ser tratadas e ultrapassadas, a indústria da construção tem vindo a enfrentar desafios para melhorar o seu desempenho atual e aumentar a produtividade geral, e para a qual poderá contribuir fortemente uma utilização mais generalizada de sistemas de automação e robôs autónomos.

# 4.3.3 Exemplos de automação na indústria da construção e da reabilitação

No geral, os sistemas de automação utilizados na indústria da construção podem ser classificados em quatro categorias: A) Sistemas de pré-fabricação fora do local, B) Sistemas robóticos automatizados no local, C) Drones e veículos autónomos (AV) e D) Dispositivos vestíveis de exoesqueleto. Para cada uma dessas categorias, existem várias aplicações.

#### A) Sistemas de pré-fabricação fora do local

A utilização de sistemas de automação em pré-fabricação fora do local tem uma das suas expressões no fabrico aditivo em larga escala. A primeira tentativa de utilizar materiais à base de cimento numa abordagem de fabrico aditivo foi sugerida por Pegna (OPCM 3274, 2005). Atualmente existem três processos de fabrico aditivo de larga escala direcionados à construção e arquitetura no domínio público, a saber: Contour Crafting, D-Shape (Monolite) e Concrete Printing. Todos os três comprovaram o sucesso no fabrico de componentes de tamanho significativo e são adequados para aplicações de construção e/ou arquitetura.

O fabrico por contornos (Contour Crafting), Fig. 4.11, é uma tecnologia de fabrico em camadas que parece ter um grande potencial na construção automatizada de pequenas estruturas inteiras, incluindo alguns dos seus subcomponentes. Através da tecnologia de modelação por contorno uma única casa ou mesmo um conjunto inteiro de casas podem ser construídas numa só vez, com a possibilidade de cada uma ter um design diferente.



Figura 4.11 - Exemplo de Contour Crafting
Fonte - https://www.hisour.com/pt/contour-crafting-40687

O processo em forma de D (D-Shape) usa camadas de pó e adesivo em vez da pasta semelhante a cimento usada em outros métodos. Isso envolve um processo de depósito de pó, onde o "pó" é endurecido seletivamente usando um aglutinante, da mesma maneira que no processo de impressão 3D usual. Cada camada do material é colocada na espessura desejada, compactada e, em seguida, os bicos montados em um pórtico depositam o ligante onde a peça deve ficar sólida. Uma vez que uma peça está completa, ela é retirada do leito de pó solto (Figura 4.12). Este sistema de construção automatizado, que usa areia e aglutinante para criar estruturas de forma livre semelhantes a pedras, permite a construção de edifícios de arenito em tamanho real sem intervenção humana.



Figura 4.12 - A Radiolaria, impressa na máquina de Enrico Dini, exemplo de D-shape Fonte - https://3dprintingindustry.com/news/robotic-construction-exploring-limits-3d-printing-enrico-dini-99977

Tal como acontece com a elaboração de contornos, a impressão de cimento (Concrete Printing) também envolve a extrusão de argamassa de cimento em um processo de camada por camada. Este processo de impressão pode ser realizado sem o uso de cofragem e de mão-de-obra intensiva e tem a capacidade de incorporar vários elementos funcionais na estrutura. No entanto, o processo foi desenvolvido sem as espátulas usadas na elaboração de contornos, de modo que uma resolução menor de deposição é necessária para alcançar maiores níveis de liberdade 3D. Este menor nível de resolução de impressão resultou, no entanto, em um maior controle das geometrias internas e externas (Figuras 4.13, 4.14 e 4.15).



Figura 4.13 - O primeiro edifício impresso em 3D da Europa em apenas 3 dias.

Fonte - www.bftinternational.com/en/artikel/bft\_Europe\_s\_first\_3D\_printed\_building\_in\_just\_3\_days\_reprinted 3454309.html



Figura 4.14 - A impressão 3D de uma residência na Alemanha

Fonte - www.archdaily.com/949531/3d-printing-for-residential-is-market-ready-germanys-first-buildingis-under-construction



Figura 4.15 - Vista superior da impressão 3D de uma residência na Alemanha
Fonte - https://www.archdaily.com/949531/3d-printing-for-residential-is-market-ready-germanys-first-building-is-under-construction

A uniformidade do projeto é uma parte essencial da criação de edifícios acessíveis e construíveis. No entanto, os clientes nos últimos anos começaram a solicitar edifícios e projetos conceptuais mais exclusivos e menos uniformes, que muitas vezes são abandonados devido aos custos extras envolvidos. Essa restrição ao pensamento original pode ser superada por métodos 3D em larga escala que são capazes de fornecer componentes não repetidos a um preço econômico, desde que sejam necessários volumes de produção relativamente baixos. A tecnologia de impressão 3D oferece automação de construção no local, capaz de reduzir a dependência de mão-de-obra

e, consequentemente, reduzir o risco de lesões e paralisações devidas ao clima mais agressivo para os trabalhadores. Como resultado, estima-se que a tecnologia seria capaz de reduzir os custos de construção até 30%.

Essas técnicas também são capazes de reduzir drasticamente o *lead time* de produção, bem como o custo de projeto e fabricação de peças mais complexas que seriam difíceis ou impossíveis de fazer com métodos de construção mais tradicionais.

#### B) Sistemas robóticos automatizados no local

As aplicações de robôs no local da construção têm muitas limitações quando comparadas a outras categorias. Os atuais robôs de construção no local dependem, principalmente, de processos pré-programados para executar tarefas repetitivas únicas, como execução de alvenarias, montagem de treliças de aço, soldagem de aço, instalação de fachadas, lavagem e pintura de paredes (Figura 4.16), colocação de argamassa de cimento e tijolo (Figura 4.17), etc., que não envolvem multitarefa ou multi-construção do robô. Os atuais sistemas robóticos no local auxiliam no trabalho de construção, mas não podem substituir os trabalhadores e precisam de supervisão ou assistência de um operador. Ter a possibilidade dos robôs de construção no local serem capazes de se adaptar aos ambientes de construção e executar várias tarefas sem codificação humana ou ordens programadas não é trivial, e será necessária mais investigação para criar um robô de construção autónomo de alto nível.



Figura 4.16 - OutoBot, um robô inovador para lavar e pintar arranha-céus Fonte - https://phys.org/news/2017-03-outobot-robot-high-rise.html



Figura 4.17 - Robô para colocação de tijolos

Fonte - https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/brick-laying-robot-reaches-the-uk

# C) Drones e veículos autónomos (AV)

Os Drones e os veículos autónomos (AV) já são amplamente utilizados em diversas obras para ajudar no processo de monitorização e entrega de materiais (Figura 4.18).



Figura 4.18 - Utilização de drones na indústria da construção Fonte - https://parazero.com/2017/07/14/elementor-315

# D) Dispositivos vestíveis de exoesqueleto

Os exoesqueletos ultrapassaram os limites da interação humano-robô (HRI). Esses sistemas podem auxiliar e proteger os trabalhadores que realizam tarefas cansativas e perigosas, como

levantar cargas pesadas, e são úteis para reduzir a fadiga e facilitar o uso de outras ferramentas e equipamentos em posições inadequadas (Figura 4.19 e Figura 4.20).



Figura 4.19 – Utilização de um exoesqueleto na indústria de construção

Fonte - https://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/construction-exoskeletons-exosuits-businessrobotics-1.5444092



Figura 4.20 – Exoesqueleto disponível para a indústria de construção no Canadá

Fonte - https://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/construction-exoskeletons-exosuits-businessrobotics-1.5444092

#### 4.4 Monitorização Wireless e Equipamento Conectado

# 4.4.1 Os conceitos de Monitorização Wireless e Equipamento Conectado

A Monitorização Wireless e o Equipamento Conectado estão associados ao conceito de redes de Internet das Coisas – IoT (Internet of Things), em que existe a conexão com uma variedade de sistemas/equipamentos integrados que partilham informações, com o objetivo da sua interoperabilidade e da otimização do desempenho total das construções, proporcionando segurança, economia, eficiência, monitorização do comportamento de componentes e redução de impactos ambientais. Este sistema é, pois, desenhado para interligar equipamentos ('Things') à internet, por wireless.



Figura 4.21 - Os edifícios e os equipamentos conectados Fonte - www.temsustentavel.com.br/construcao-civil-edificios-inteligentes/)

Assim, a Monitorização Wireless e o Equipamento Conectado possibilitam conectar vários componentes e equipamentos de uma construção ou de uma reabilitação entre si, e com computadores, por meio da internet, obtendo-se ganhos de informação e eficiência, que se traduzem também em ganhos de operacionalidade, competitividade e rentabilidade, essencialmente nas áreas de gestão e direção técnica da obra, de operações de transporte, de eficiência energética, de manutenção e de Saúde e Segurança.

#### 4.4.2 Requisitos para a implementação da Internet das Coisas (IoT)

É essencial as empresas de construção e reabilitação estarem preparadas para investir em IoT. A implementação desta nova tecnologia requer muitas vezes significativas adaptações da infraestrutura existente e, como tal, o recurso a especialistas e consultores na matéria, bem como a disponibilização de recursos financeiros com alguma relevância.

A compra ou adaptação de equipamentos preparados para usar todo o potencial da IoT é somente uma parte do investimento, pois é necessário também qualificar os profissionais responsáveis pela operacionalização deste sistema, sendo que este processo incorpora em geral um considerável período de adaptação.

Sendo uma solução relativamente nova, a quantidade de fornecedores especializados confiáveis não é grande. Isso pode aumentar os custos do processo, mas também colocar a empresa que decide investir no desenvolvimento da IoT numa posição de liderança face aos seus concorrentes.

# 4.4.3 Campos de Aplicação da Monitorização Wireless e do Equipamento Conectado

Entre os principais campos de aplicação da Monitorização Wireless e do Equipamento Conectado é de salientar a monitorização em tempo real de estruturas de edifícios e pontes no respeitante a deformações, tensões, temperaturas atingidas e velocidades do vento, tanto em fase de construção como em fase de utilização, sendo que esta informação poderá ser muito relevante para a decisão de uma hipotética obra de reabilitação a empreender. Assim, pode-se, por exemplo, embutir sensores nas estruturas de betão armado para se realizar a monitorização em tempo real dos esforços sobre a estrutura, bem como avaliar o efeito das mudanças climáticas e do desgaste natural dos materiais durante a vida útil de uma obra.

Atendendo a que muitos destes dispositivos são vestíveis, ou seja, podem-se colocar na peça de vestuário dos trabalhadores, os mesmos poderão servir para transmitir informações e dados das suas atividades, sendo tal de grande importância, designadamente para a atividade de coordenação de segurança em obra. A colocação destes sistemas em EPIs pode servir para controlar a temperatura e medir sinais vitais dos trabalhadores ou para enviar alertas importantes em caso de perigo.

A Monitorização Wireless e do Equipamento Conectado são igualmente muito úteis no rastreamento de máquinas e componentes relevantes dentro do estaleiro da obra, facilitando a respetiva gestão, bem como a resolução de diversos problemas.

Por outro lado, e no sentido do acompanhamento do desgaste e do consumo de energia das máquinas e equipamentos do estaleiro, o uso desse sistemas de IoT, permite desenvolver cronogramas de manutenção preventiva (quando padrões anormais de funcionamento são detetados, desenvolvem-se alertas para que seja realizada atempadamente a intervenção evitando que o equipamento possa falhar, não existindo assim prejuízos para o normal andamento da obra) e de otimização do funcionamento dos equipamentos, tendo assim como objetivo minimizar os seus consumos energéticos.

Outra aplicação cada vez mais recorrente na construção e reabilitação reside na utilização de sensores instalados em vários tipos de equipamentos em obra, de modo a minimizar os desperdícios e a maximizar as suas performances.

#### 4.5 Big Data e Análise Preditiva

#### 4.5.1 Os conceitos de Big Data e de Análise Preditiva

No processo de tomada de decisão, o acesso à informação, a qual por sua vez resulta da análise e interpretação de dados provenientes de fontes diversas relacionados com diferentes aspetos de determinada área do conhecimento e/ou problema, é fundamental para encontrar soluções assertivas e eficientes. Desde há uns anos para cá, os diferentes agentes decisores têm valorizado cada vez mais a extração de informação útil através da análise de grandes volumes de dados. Nesse sentido, atualmente é premissa quase obrigatória uma monitorização abrangente dos mais diversos parâmetros envolvendo determinada área, com coleta e organização dos dados disponíveis e sua posterior análise no sentido de extrair informação/conhecimento para apoio no processo de tomada de decisão.

Assim, o Big Data e a Análise Preditiva são essencialmente instrumentos que permitem o desenvolvimento de técnicas estatísticas e de otimização avançada de apoio à decisão e à gestão das empresas. A utilização destes instrumentos nas empresas potencia a afirmação da reabilitação urbana inteligente e sustentável.

# 4.5.2 A implementação do Big Data e a sua utilização pelas empresas

O Big Data é uma combinação de dados estruturados, semiestruturados e não estruturados coletados por organizações, que podem ser explorados para extrair informações e utilizados em projetos de *data mining*, modelação preditiva e outras aplicações de análise avançada. Atualmente, os sistemas que processam e armazenam grandes volumes de dados tornaram-se um elemento comum das arquiteturas de gestão de dados nas organizações, estando combinados com ferramentas que suportam a realização da análise de grandes quantidades de dados. Big Data é frequentemente caracterizado pelos três V's:

- O grande volume de dados em muitos ambientes;
- A grande variedade de tipos de dados frequentemente armazenados em sistemas de Big data;
- A velocidade com que muitos dos dados são gerados, coletados e processados.

Mais recentemente, vários outros V's foram adicionados a diferentes descrições de Big Data, incluindo veracidade, valor e variabilidade.

As empresas que usam Big Data nos seus sistemas para melhorar as operações/gestão, tendem a fornecer um melhor atendimento ao cliente, criar campanhas de marketing personalizadas e realizar outras ações que, em última análise, podem aumentar a sua eficiência, a receita e os lucros. Com a implementação efetiva de Big Data em seus sistemas, estas empresas/organizações têm uma vantagem competitiva sobre aquelas que não adotam esta estratégia, pois são capazes de tomar decisões mais rápidas, informadas e assertivas. Através da análise de dados históricos e em tempo real é possível avaliar a evolução das preferências dos utilizadores, permitindo que as empresas se tornem mais responsivas às necessidades dos clientes. O Big Data tem sido utilizado nomeadamente na área da medicina para identificar sinais de doenças e fatores de risco, ajudando os médicos a diagnosticar doenças e condições médicas em pacientes, por vezes em estados ainda precoces.

Entre os exemplos de como o Big Data é utilizado nas empresas, destacam-se:

- O setor da energia, onde o Big Data ajuda as empresas de petróleo e gás a identificar possíveis locais de perfuração e monitorizar as operações de ductos. Da mesma forma, as concessionárias utilizam-no para monitorizar as redes elétricas;
- As empresas de serviços financeiros, as quais usam os sistemas Big Data para a gestão de risco e para a análise em tempo real de dados de mercado;
- Fabricantes e empresas de transporte, utilizando Big Data para gerirem as suas cadeias de fornecimento e otimizar as rotas de entrega;
- Entidades governamentais, sendo designadamente utilizado na resposta a emergências, na prevenção ao crime e em iniciativas de desenvolvimento de cidades inteligentes.

Os dados armazenados e explorados em sistemas de Big Data podem provir de inúmeras fontes, como por exemplo sistemas de processamento de transações, bancos de dados de clientes, documentos, e-mails, registos médicos, aplicações móveis, redes sociais ou sistemas de monitorização. Os sistemas de Big Data também podem incluir dados gerados por sensores em máquinas de produção, equipamentos industriais e dispositivos de internet das coisas.

Além dos dados de sistemas internos, os ambientes de Big Data geralmente incorporam dados externos sobre consumidores, mercados financeiros, condições climáticas e de tráfego,

informações geográficas, pesquisas científicas e muito mais. Imagens, vídeos e arquivos de áudio também são formas de Big Data, e muitos aplicativos de Big Data envolvem dados de streaming que são processados e coletados continuamente. Esta enorme disponibilidade de dados, muitas vezes em tempo real, é muito útil para as empresas de construção e reabilitação, nomeadamente ao nível da tomada de decisão e da gestão.

O volume é a característica mais comumente citada de Big Data. A Figura 4.22 mostra a evolução do volume de dados gerados/guardados por ano entre 2008 e 2020, observando-se um aumento exponencial na última década. Um ambiente de Big Data não precisa conter uma grande quantidade de dados, mas a maioria contém devido à natureza dos dados que estão sendo coletados e armazenados. *Clickstreams, logs* do sistema e sistemas de processamento de fluxo estão entre as fontes que normalmente produzem grandes volumes de dados de forma contínua.

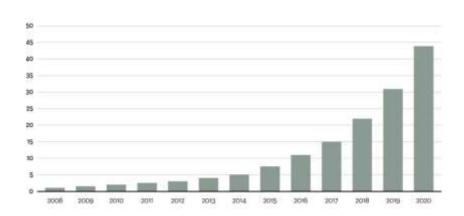


Figura 4.22 - Evolução do volume de dados por ano em zettabytes Fonte - Hammad, K. et al. (2015).

O Big Data abrange também uma ampla variedade de tipos de dados, incluindo os seguintes:

- Dados estruturados, como transações e registos financeiros;
- Dados não estruturados, como texto, documentos e arquivos multimédia; e
- Dados semi-estruturados, como *logs* do servidor web e dados de *streaming* de sensores.

Além dos dados estruturados típicos, o Big Data contém texto, áudio, imagens, vídeos e muitos outros dados não estruturados e semi estruturados, que estão disponíveis em muitos formatos analógicos e digitais. Do ponto de vista analítico, a variedade de dados é o maior desafio para

explorá-los de forma eficiente. Alguns investigadores acreditam que o controle da variedade e da volatilidade dos dados são a chave da análise de Big Data.

Outro aspeto essencial é a velocidade com que os dados são gerados, processados e analisados. Em muitos casos, os conjuntos de Big Data são atualizados em tempo real ou quase real, em vez das atualizações diárias, semanais ou mensais feitas em muitos *data warehouses* tradicionais. Gerir a velocidade dos dados também é importante, pois a análise de Big Data expande-se ainda mais para inteligência artificial (IA), onde os processos analíticos encontram automaticamente padrões nos dados, usando-os para gerar conhecimento.

Paralelamente ao aumento do volume de dados recolhidos e armazenados, também o poder computacional tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas. É esta capacidade de cálculo que juntamente com a disponibilidade de grandes volumes de dados e capacidade de aprendizagem de algoritmos avançados, tem permitido explorar problemas de elevada complexidade nas mais diversas áreas de conhecimento, nomeadamente na Engenharia Civil. A Figura 4.23 mostra a evolução do número de transístores integrados em chips que é proporcional ao aumento da capacidade de processamento (lei de Moore), onde é possível observar um crescimento constante ao longo do tempo.

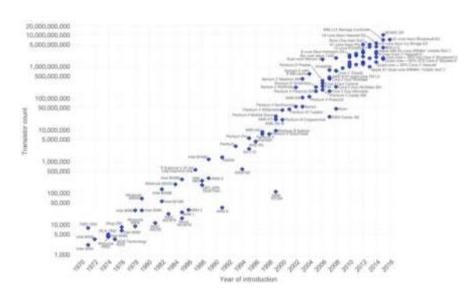


Figura 4.23 - Evolução do número de transístores integrados em chips Fonte - https://ourworldindata.org/technological-progress (acedido em março, 2022)

O processamento de Big Data exige muito da infraestrutura de computação subjacente. O poder de computação necessário geralmente é fornecido por sistemas em *cluster* que distribuem

cargas de trabalho de processamento em centenas ou milhares de servidores comuns. Obter esse tipo de capacidade de processamento de maneira económica é um desafio. Como resultado, a nuvem é um local popular para sistemas de Big Data. As organizações podem implantar seus próprios sistemas baseados em nuvem ou usar ofertas gerenciadas de Big Data como serviço de provedores de nuvem, podendo aumentar o número necessário de servidores apenas durante o tempo suficiente para concluir projetos de análise de Big Data.

Como referido acima, um terceiro elemento-chave no desenvolvimento de Big Data, é a capacidade dos algoritmos de IA em explorar problemas complexos multivariável. O desenvolvimento de técnicas estatísticas e de otimização avançada, incluindo redes neuronais com várias camadas de processamento, tem permitido analisar grandes volumes de dados relacionados com problemas de elevada complexidade. A Figura 4.24 mostra a evolução da popularidade de diferentes algoritmos ao longo do tempo. De notar um crescimento exponencial na implementação de redes neuronais nas últimas duas décadas. Este crescimento deve-se essencialmente ao aparecimento de grandes volumes de dados, os quais são essenciais para alimentar redes neuronais multi-camada, caracterizadas por elevada capacidade de aprendizagem.

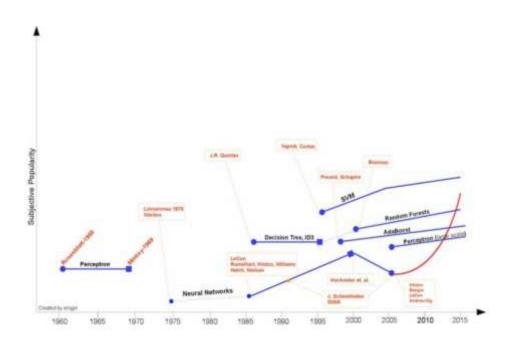


Figura 4.24 - Popularidade dos algoritmos de inteligência artificial ao longo do tempo Fonte - https://ourworldindata.org/technological-progress (acedido em março, 2022)

Para obter resultados válidos e relevantes de aplicações de análise de Big Data, é necessária uma compreensão detalhada dos dados disponíveis e ter uma noção objetiva do que se pretende explorar. Assim, previamente à implementação dos algoritmos é necessário todo um processo de seleção, limpeza, validação, pré-processamento e transformação do conjunto de dados. Após esta fase inicial, normalmente representando cerca de 70% de um projeto de Big Data, diferentes algoritmos podem ser aplicados com o objetivo de extrair padrões e tendências dos mesmos, que depois de interpretados por uma equipa multidisciplinar, envolvendo especialistas em análise de dados e no domínio do problema em estudo, são convertidos em conhecimento útil.

Em linha com os problemas de capacidade de processamento, projetar uma arquitetura de Big Data é um desafio partilhado por todos os utilizadores. Os sistemas de Big Data devem ser adaptados às necessidades específicas de cada organização. Este tipo de planeamento exige que as equipes de sistemas de informação e gestão de dados disponham de um conjunto específico de tecnologias e ferramentas. A implantação e gestão de sistemas de Big Data também exigem novos conhecimentos em comparação com as que os administradores de bases de dados e programadores focados em software normalmente possuem. Estes dois problemas podem ser minimizados usando um serviço de gestão na nuvem. Contudo, é necessário um acompanhamento constante por forma a garantir que os custos não sejam desproporcionais.

À medida que a coleta e o uso de Big Data aumentaram, também aumentou o potencial de uso indevido de dados. Um protesto público sobre violações de dados e outras violações de privacidade pessoal levou a União Europeia a aprovar o Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR), uma lei de privacidade de dados que entrou em vigor em maio de 2018. O GDPR limita os tipos de dados que as organizações podem coletar e exige a opção no consentimento dos indivíduos ou no cumprimento de outras razões especificadas para a coleta de dados pessoais. Também inclui uma cláusula do direito de ser esquecido, que permite que os residentes da UE solicitem às empresas que excluam seus dados.

Para garantir o cumprimento dessas leis, as organizações precisam gerir cuidadosamente o processo de coleta de Big Data. Protocolos rigorosos devem ser implementados de forma a identificar dados regulamentados e impedir que funcionários não autorizados tenham acesso aos mesmos. Em última análise, o valor comercial e os benefícios das iniciativas de Big Data dependem dos trabalhadores encarregados de gerir e analisar os dados.

#### 4.5.3 Modelos Preditivos e de apoio à decisão

A combinação de modelos preditivos e técnicas de otimização permitem o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão. Na área da Engenharia Civil, têm sido desenvolvidas diversas aplicações envolvendo o recurso a estas ferramentas. Nas infraestruturas de transporte, de forma a assegurar o bom funcionamento das mesmas, um dos elementos que requer particular atenção é a rede constituída pelos taludes de terreno nas margens das vias de comunicação. Particularmente quando uma rede de taludes tem uma elevada extensão, ela representa um esforço financeiro significativo no que à sua manutenção e conservação diz respeito. Assim, para a identificação do nível de estabilidade dos taludes, é importante recorrer a informação de fácil obtenção, como por exemplo dados coletados durante inspeções de rotina. Por outro lado, é fundamental dispor de ferramentas capazes de interpretar essa informação e identificar eficazmente o nível de estabilidade de cada elemento da rede, de forma a priorizar as verbas disponíveis.

Nesse sentido, Tinoco, J. et al. (2018) desenvolveram um sistema de avaliação do nível de estabilidade de taludes, combinando a capacidade de aprendizagem das Redes Neurais Artificiais (RNA) e o poder de otimização dos Algoritmos Genéticos (AG). O sistema proposto tem como base informação recolhida durante inspeções de rotina, bem como todo um conjunto de características geométricas e geográficas do talude, e atribui uma classe ao nível de estabilidade do mesmo. No estudo, os AG foram aplicados na seleção do melhor conjunto de variáveis a utilizar no treino da RNA. Esta abordagem, combinando técnicas de otimização e algoritmos de IA, permite reduzir significativamente a informação necessária para a identificação do nível de estabilidade de taludes rochosos, sem, contudo, comprometer o desempenho dos modelos. De acordo com o estudo publicado, apenas 28 variáveis foram consideradas (ver Figura 4.25) em comparação com as 65 utilizadas quando aplicados apenas algoritmos de IA.

Uma outra aplicação muito interessante onde a conjugação de algoritmos de inteligência artificial e técnicas de otimização permitiu um ganho significativo em termos dos recursos necessários, diz respeito a trabalhos de terraplanagens (Parente, M. et al., 2015). Neste estudo, uma abordagem baseada em AG foi escolhida como base para o desenvolvimento de um sistema de otimização de terraplenagem. O sistema proposto integra diversas tecnologias, incluindo IA, na forma de métodos de computação evolutiva e data mining, e otimização de programação linear, na tentativa de se ajustar à realidade complexa associada a esses tipos de construções.

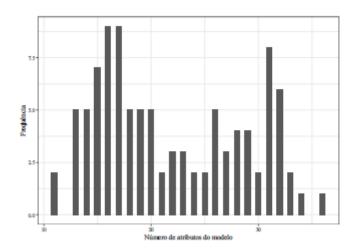


Figura 4.25 - Número de variáveis usadas nos modelos entre todas as soluções ótimas de Pareto Fonte - Tinoco, J. et al. (2018).

Esta investigação teve como objetivo otimizar a afetação dos recursos disponíveis (representados por equipamentos mecânicos) ao longo das tarefas sequenciais (nomeadamente escavação, transporte, espalhamento e compactação de geomateriais) que integram o processo de terraplanagem.

Nesta estrutura, a tecnologia de data mining suporta as técnicas de otimização, fornecendo estimativas realistas da produtividade dos equipamentos disponíveis nas condições do local. Os resultados obtidos mostraram a capacidade do sistema proposto em distribuir os equipamentos de forma relativamente homogênea (quando comparado ao projeto convencional), minimizando custos e prazos, indo desta forma de encontro ao objetivo pretendido no estudo (Parente, M. et al. 2015).

Na Figura 4.26, é possível observar os resultados do processo de otimização: Frente de Pareto com média vertical (lado esquerdo) e a comparação entre a frente de Pareto otimizada (curva traço continuo) vs. solução de alocação baseada em humanos (ponto).

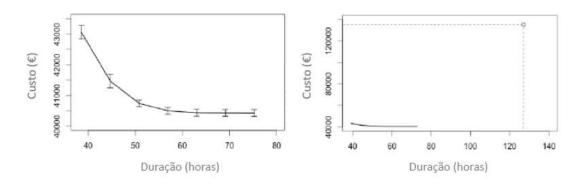


Figura 4.26 - Resultados do processo de otimização através do Diagrama de Pareto Fonte - Parente, M. et al. (2015).

Estes dois casos de estudo, em particular a segunda aplicação envolvendo terraplanagens, são ilustrativas das vantagens da implementação de ferramentas de inteligência artificial e de otimização em problemas de Engenharia Civil.

#### 4.6 Realidade Aumentada e Virtualização

#### 4.6.1 Os conceitos de Realidade Aumentada e de Virtualização

A Realidade Aumentada e a Realidade Virtual permitem criar ambientes imersivos realistas, onde é fácil observar e manipular objetos virtuais. Enquanto os ambientes de Realidade Virtual são integralmente compostos de objetos digitais, a Realidade Aumentada acrescenta imagens geradas por computador ao campo visual do utilizador.

Estas tecnologias são particularmente interessantes para simular atividades que decorrem num ambiente real ou fictício, sem exigir que os utilizadores necessitem de uma formação específica para o efeito. Estas características são especialmente valorizadas pela indústria do entretenimento, pelo que estas soluções têm vindo a ser implementadas, sobretudo em atividades lúdicas, à medida que o desenvolvimento da tecnologia o permita. A massificação da Realidade Virtual resulta na disponibilização de hardware e software, que são igualmente aptos para aplicações industriais e a preços cada vez mais acessíveis.

Atualmente, as empresas que desenvolvem as ferramentas BIM mais populares do mercado disponibilizam também soluções de Realidade Virtual compatíveis, que permitem um acesso mais fácil aos modelos digitais. Esta crescente integração das interfaces imersivas nos processos digitais tem gerado inúmeras aplicações com interesse para todas as fases do ciclo de vida da construção e adequadas a diferentes perfis de utilizadores, quer estes se encontrem na obra ou em gabinete.

São seguidamente exploradas algumas aplicações da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada na indústria da construção, sublinhando o seu impacto potencial enquanto agente de inclusão nos processos digitais da Construção/Reabilitação 4.0.

# 4.6.2 Visualização e anotação de modelos tridimensionais

Nas atividades que decorrem a montante da fase de execução, o recurso às tecnologias imersivas pode ocorrer, por exemplo, para comunicar intenções de projeto, para rever a qualidade de modelos tridimensionais de projeto, ou para realizar análises de construtibilidade.

A título de exemplo, ilustra-se nas Figuras 4.27 e 4.28 a utilização de interfaces virtuais imersivas. A interface assinalada na Figura 4.27 permite percorrer o modelo e efetuar anotações através de comandos de voz. Esta informação é enviada automaticamente para o modelo BIM correspondente (neste caso, um modelo Revit), onde fica associada aos respetivos objetos (Cruz, T. 2018).

A Figura 4.28 demonstra a utilização do equipamento HoloLens 2 para revisão de um modelo BIM através de uma interface de Realidade Aumentada. Neste tipo de utilização, o modelo funciona como uma maqueta digital que pode ser manipulada com gestos e comandos de voz.



Figura 4.27 - Ambiente imersivo para revisão de modelo BIM Fonte - Cruz, T. (2018)

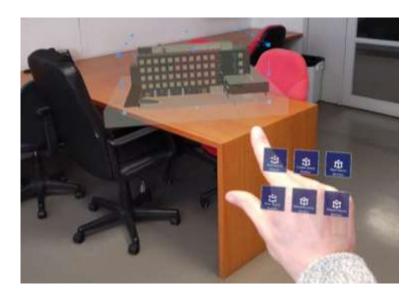


Figura 4.28 - Utilização de Realidade Aumentada para interação com modelos BIM.

As tecnologias imersivas oferecem uma perspetiva mais envolvente e realista dos elementos construtivos, em particular, face à sua escala e presença espacial. Podem assim funcionar como ferramenta complementar de análise do projeto.

A praticabilidade e mobilidade conferida por equipamentos de Realidade Aumentada através da utilização de comandos gestuais e de voz permitem uma mais fácil adaptação ao contexto de obra. Exemplifica-se na Figura 4.29 a verificação de elementos de diferentes especialidades em contexto real, sobrepondo imagens geradas por computador ao campo de visão do utilizador.



Figura 4.29 - Visualização e análise da compatibilidade em obra Fonte: Trimble (2002).

A Figura 4.30 ilustra um ambiente imersivo de Realidade Virtual onde, através da alternância do estado ativado e desativado de elementos construtivos, é possível interpretar e rever a compatibilidade entre várias especialidades do projeto, assim como a presença de elementos ocultos.



Figura 4.30 - Visualização e análise da compatibilidade entre disciplinas de projeto

## 4.6.3 Segurança em obra

O uso das tecnologias imersivas para o treino de equipas de trabalho tem vindo a ganhar maior expressão nos últimos anos. O recurso a motores de jogo possibilita o desenvolvimento de ambientes virtuais interativos e fiéis na simulação de propriedades físicas de objetos (Figura 4.31), facilitando a representação de situações de potencial perigo, assim como a sensibilização para as práticas de segurança.

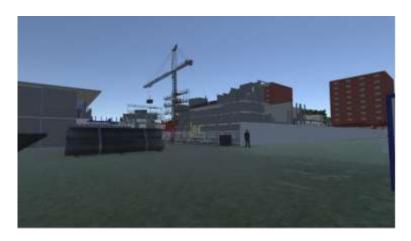


Figura 4.31 - Aplicação com interface de Realidade Virtual para simular situações de risco de segurança em obra

Fonte — Silva, R. (2021)

## 4.6.4 Captura da realidade

A captura automática das condições existentes dos edifícios é frequentemente realizada através de tecnologias como o laser scanning ou os drones. Tipicamente, as nuvens de pontos resultantes dos processos de levantamento são tratadas e modeladas manualmente para que possam depois ser consultadas em aplicações dedicadas. Como alternativa, de acordo com a Figura 4.32, um utilizador pode recorrer às tecnologias imersivas para percorrer e interagir com as nuvens de pontos recolhidas (Scan-to-VR).



Figura 4.32 - Integração de nuvens de pontos capturadas por laser scanner numa interface imersiva

Alguns equipamentos podem realizar um levantamento da envolvente, representando depois o resultado num ambiente de Realidade Aumentada (Scan-to-AR). A Figura 4.33 ilustra o resultado da utilização de um equipamento HoloLens 2 para reconhecer o espaço físico envolvente.



Figura 4.33 - Malha espacial capturada com recurso ao HoloLens 2.

# 4.6.5 Enriquecimento semântico de modelos para gestão de ativos

A disponibilização e gestão da informação ao longo do ciclo de vida dos edifícios através de interfaces imersivas facilitam o acesso a estes dados. Assim, e independentemente do seu conhecimento prévio sobre metodologias BIM, os utilizadores poderão interagir com o modelo virtual e editar as propriedades do modelo BIM subjacente. As Figuras 4.34 e 4.35, ilustram um protótipo de uma interface imersiva para o enriquecimento semântico de modelos BIM.

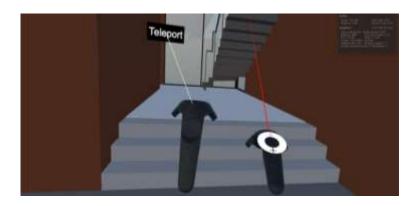


Figura 4.34 - Seleção de um elemento para enriquecimento semântico



Figura 4.35 - Visualização e edição das propriedades de objetos através de uma interface imersiva

A virtualização da construção oferece soluções simples para um dos maiores obstáculos à digitalização na construção, ao democratizar o acesso aos modelos digitais e à informação neles contida.

Com efeito, a digitalização do ambiente construído – isto é, o desenvolvimento e utilização de modelos digitais de edificações, dos seus componentes e de todos os processos inerentes à sua conceção, construção e gestão – depende da capacidade que os intervenientes tenham de interagir com ferramentas informáticas para produzir e aceder a informação. Embora o valor potencial desta informação seja inegável, é também claro que a generalização do uso de ferramentas BIM é hoje inviável dado que apenas uma minoria dos técnicos têm as competências necessárias, mesmo para desenvolver tarefas simples.

As interfaces imersivas – de Realidade Virtual ou Aumentada – podem ser usadas para aceder e editar modelos digitais de uma forma natural, isto é, sem que seja necessário treinar previamente os utilizadores. O ambiente virtual proporcionado por estas interfaces assemelha-

se muito ao dos jogos de computador. Na verdade, estas interfaces recorrem a muitos dos mesmos componentes de software e de hardware que são usadas pelos técnicos que desenvolvem estes jogos e pelos próprios jogadores.

No caso da Realidade Virtual, os utilizadores acedem a um mundo completamente imaterial, pelo que esta solução se torna interessante para aplicações longe do local da obra em causa, ou antes mesmo que esta seja construída. A Realidade Virtual é já utilizada, por exemplo, para desenvolver e comunicar informação de projeto, ou para antever situações que possam ocorrer durante a fase de construção.

A Realidade Aumentada resulta da introdução de imagens geradas por computador no campo visual do utilizador, pelo que é uma solução adequada para apresentar informação no local onde esta é mais relevante. Assim, a Realidade Aumentada pode ser usada, por exemplo, para revelar elementos construtivos ocultos ou para apresentar informação operacional sobre gestão de ativos durante visitas ao local.

Ainda que as ferramentas informáticas tradicionais — de aprendizagem mais demorada e, portanto, inacessíveis à generalidade dos utilizadores — mantenham a sua relevância, podem ser complementadas por estas interfaces imersivas mais amigáveis, aumentando assim o impacto dos modelos digitais durante todo o ciclo de vida das construções.

## 4.7 Fotogrametria e Varrimento Laser

## 4.7.1 Os conceitos de Fotogrametria e Varrimento Laser

No processo de reabilitação urbana, a frequente escassez ou mesmo ausência de informação sobre os edifícios justifica a necessidade de realizar levantamentos precisos, mas expeditos, da geometria e das principais anomalias. Esta informação é fundamental na análise e diagnóstico de construções existentes, com particular relevância em edifícios antigos, dada a complexidade inerente a estas construções.

Dentro do leque das modernas técnicas de levantamento, a Fotogrametria Digital e o Varrimento Laser estão entre as tecnologias mais apelativas e com aplicação em muitas áreas de interesse. Fotogrametria Digital como técnica de obtenção de informação métrica sobre objetos físicos através de mediação e interpretação de imagens fotográficas, e o Varrimento Laser como técnica que permite determinar coordenadas ou outras propriedades de um objeto com base na sua resposta à iluminação com radiação laser.

De facto, a crescente evolução tecnológica, desde a vasta gama de câmaras fotográficas digitais de elevado desempenho à maior capacidade de processamento computacional, aumentou significativamente o âmbito de aplicação destas técnicas de aquisição e tratamento de informação. Por outro lado, aspetos como o tempo exigido para a realização de levantamentos geométricos, a abundância de informação e a possibilidade imediata de utilização do produto final são alguns dos pontos fortes da Fotogrametria e do Varrimento Laser. A liberdade de utilização de drones combinada com estas técnicas, tornam estas ferramentas ainda mais apelativas e com uma relação custo-benefício muito atrativa.

## 4.7.2 Características e funções

A Fotogrametria Digital consiste, essencialmente, no processo de obtenção de informação métrica de um objeto, através de medições efetuadas sobre fotografias, estabelecendo uma relação geométrica entre a imagem e o objeto em estudo, constituindo numa tecnologia passiva. A Fotogrametria era originalmente realizada sobre fotografias obtidas por processos analógicos, por exemplo a fotografia aérea para a construção de mapas estereoscópicos. A evolução da fotografia digital e da capacidade de computação, a par da sua acessibilidade, possibilita atualmente a criação de modelos virtuais tridimensionais de objetos de escala arbitrária com

recurso a simples telemóveis. Habitualmente o processo implica várias fases, que incluem a aquisição das imagens, o processamento para a obtenção da nuvem de pontos esparsa, a obtenção da nuvem de pontos densa, e a obtenção de alguns resultados que normalmente incluem o desenvolvimento de ortofotomapas e modelos de elevação (ver Figura 4.36).

O Varrimento Laser consiste numa tecnologia de deteção remota de alta precisão que permite determinar coordenadas ou outras propriedades de um objeto com base na sua resposta à iluminação com radiação laser. A técnica tem como importante antecessor o LiDAR (da sigla inglesa Light Detection And Ranging), que na grande maioria das aplicações consiste em obter a distância a um objeto medindo a diferença de tempo entre a emissão de um pulso laser e a deteção do sinal refletido.

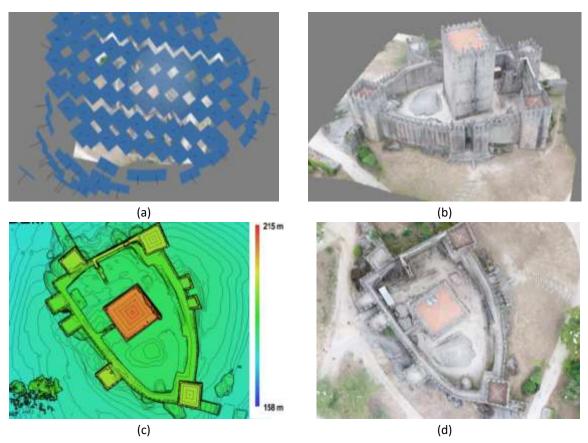


Figura 4.36 - Fotogrametria Digital – Castelo de Guimarães: (a) perspetiva geral das imagens recolhidas, (b) modelo de nuvem de pontos densa, (c) modelo de elevação digital (elevação em m), (d) ortofotomapa obtido por junção e projeção ortogonal das imagens recolhidas.

Pode ainda ser utilizada a variação da distância entre o ponto emissor e recetor para aferir essa mesma distância. A tecnologia LiDAR tem diversas aplicações no âmbito da geodesia e geomática, arqueologia, geografia e geologia, engenharia florestal, oceanografia costeira,

deteção remota e física da atmosfera, e em associação aos sistemas espaciais e sistemas de condução autónoma. A evolução mais recente da acessibilidade da tecnologia associada, incluindo a miniaturização e a redução de custos, têm contribuído para uma maior disseminação do seu uso e emprego em novas aplicações (ver Figura 4.37).

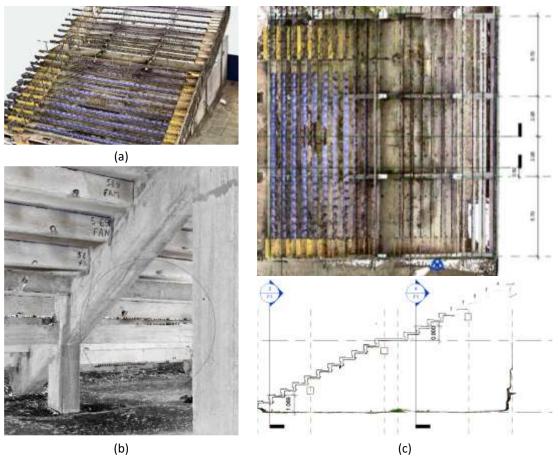


Figura 4.37 - Varrimento laser do Estádio do Famalicão: (a) perspetiva geral da nuvem de pontos com informação RGB da face exterior da bancada, (b) detalhe da nuvem de pontos vista pela face inferior da bancada com elevada resolução, (c) vista em planta da nuvem de pontos da bancada pelo lado exterior, com informação RGB, e corte transversal da nuvem de pontos mostrando a espessura da bancada e outras medições obtidas com precisão milimétrica.

## 4.7.3 Vantagens e Inconvenientes

Apesar de possuírem princípios de funcionamento bastante distintos, a Fotogrametria Digital e o Varrimento Laser têm muitos aspetos em comum, quando analisados os resultados que originam. De um ponto de vista prático, tanto uma como outra têm como resultado principal a criação de uma nuvem de pontos tridimensional representativa da superfície do objeto ou do terreno em estudo, em que a posição espacial de cada ponto é determinada com elevada precisão e resolução.

No caso da Fotogrametria Digital, a posição de cada um destes pontos é obtida pela identificação de 'pequenas regiões' com determinadas características ou padrões em mais do que uma fotografia, e através da mudança de perspetiva realizada em cada fotografia e das relações geométricas entre elas, obtém-se a posição do ponto representativo.

Este processo computacional origina uma nuvem de pontos que representa a superfície do objeto de forma rigorosa, e que pode ser posteriormente registada num determinado sistema de coordenadas espaciais, frequentemente com recurso a pontos especiais dos quais as coordenadas são conhecidas, chamados pontos de interesse.

Por outro lado, no caso do Varrimento Laser, a estação adquire a distância relativa entre a sua posição e diversos pontos do objeto a digitalizar, emitindo para o efeito um feixe laser sob a forma de pulsos com taxas de aquisição muito elevadas. Com a repetição deste processo para várias posições distintas da estação, e sendo possível garantir a sobreposição parcial das áreas cobertas por cada uma das posições adotadas pela estação, é possível estabelecer relações geométricas entre os vários pontos obtidos e formar uma nuvem de pontos única que representa a superfície do objeto a digitalizar.

A Fotogrametria Digital é habitualmente reconhecida como vantajosa na obtenção de modelos digitais, permitindo a obtenção de modelos de ativos físicos mais realistas. Pode também atingir resoluções espaciais muito elevadas, ainda que com o aumento da dimensão e da resolução o processo implique a aquisição e o processamento de grandes volumes de dados. Este processo é mais acessível do ponto de vista económico e técnico, desde que a dimensão dos modelos a efetuar e a resolução a atingir não sejam demasiado exigentes.

O Varrimento Laser tem-se tornado cada vez mais acessível do ponto de vista económico e técnico. Apresenta como principal vantagem uma menor suscetibilidade a perturbações devidas a efeitos de objetos muito fragmentados na produção dos modelos, como é o caso da vegetação. Possibilita ainda a obtenção de modelos realistas dos objetos ou ativos a modelar, podendo os equipamentos mais recentes obter a informação da 'cor' dos pontos adquiridos. No entanto, o aspeto final não é tão realista, sendo habitualmente notória uma granularidade mais evidente e um aspeto visual menos realista que no caso da Fotogrametria Digital.

## 4.7.4 Aplicações da Fotogrametria e do Varrimento Laser

Em geral e independentemente da técnica utilizada (Fotogrametria Digital ou Varrimento Laser), o objetivo principal da sua aplicação consiste essencialmente na obtenção de um modelo virtual de um determinado ativo físico. A título de exemplo, destacam-se os seguintes domínios de utilização principais no contexto do património edificado:

- Levantamento geométrico e análise da evolução histórica do edificado, à escala do edifício ou à escala urbana;
- Medição de grandes deformações e identificação de problemas estruturais;
- Mapeamento e análise de anomalias;
- Criação de modelos numéricos para análise do comportamento estrutural e estudo de patologias;
- Criação de modelos digitais e de realidade aumentada para visitação virtual e preservação de espaços sensíveis;
- Recuperação e restauro de elementos de complexidade geométrica elevada, tais como elementos decorativos e arquitetónicos antigos, permitindo a produção de modelos digitais para moldes;
- Planeamento de intervenções de reabilitação e ampliação de construções.

Para além do património edificado, no contexto da Engenharia Civil é ainda possível identificar outros domínios de aplicação relevantes e afins, tais como:

- Análise forense e documentação de infraestruturas em cenários de catástrofe;
- Estudo do estado de conservação de elementos e componentes estruturais em condições de difícil acesso;
- Planeamento de obra em contextos de escavações e aterros, para medições topográficas e avaliação de volumetrias;
- Monitorização automática de atividade portuária na movimentação de carga a granel;
- Documentação do património arqueológico e artístico em áreas de trabalhos em curso;
- Documentação de património arqueológico e ambiental submerso;

 Associação de outras técnicas de deteção remota e radiométricas, tais como a medição de temperaturas ou o mapeamento de processos de colonização biológica e outros tipos de deterioração.

Por outro lado, o Modelo de Informação da Construção (BIM) assume um papel cada vez mais relevante na indústria da construção e está fortemente associado com a Fotogrametria Digital e o Varrimento Laser. Tratando-se de um processo que envolve a geração e gestão de representações digitais de características físicas e funcionais de peças do património construído, é incontornável como peça integrante do futuro da construção e da reabilitação. Sendo já uma realidade e uma obrigatoriedade em muitos casos, continua a apresentar aspetos muito promissores quando aplicado a outras áreas para além da construção nova. Um dos aspetos mais promissores está relacionado com a criação dos chamados gémeos digitais ('digital twins'), representações exatas de edifícios ou partes destes, sob a forma de dados digitais. Estas representações podem ser imaginadas como um banco de dados que conhece tudo acerca de um edifício desde a fase da sua construção ou reconstrução, e que inclui redes de sensores ou outras fontes de informação que garantem a atualização contínua desta informação e em tempo real. Estas representações permitem o estudo do desempenho dinâmico do gémeo físico, por simulação no gémeo digital com base em ferramentas desenvolvidas para uma variedade de cenários e condições fronteira.

A contínua e crescente digitalização e automação dos processos da construção em todo o seu ciclo de vida têm implicado uma necessidade cada vez maior de reunir a informação dos ativos físicos sob a forma de modelos digitais. O ponto de partida inicial destes modelos está, em grande medida, associado à informação geométrica, seja esta estática ou evolutiva no tempo. As abordagens mais recentes de manutenção preventiva do património construído dependem em grande medida de modelos de informação digital e de gémeos digitais, como forma de garantir a sua efetividade e a sua adequação casuística e detalhada. Deste modo, a criação de modelos digitais é uma peça chave de suporte de todas as dimensões adicionais do modelo de informação, tornando-se uma ferramenta útil que facilita os processos e que, na sua vertente mais promissora, permite novas abordagens de reabilitação e manutenção do património construído.

As Figuras 4.38 e 4.39 ilustram dois exemplos emblemáticos da aplicação da Fotogrametria Digital ao estudo e diagnóstico de construções com valor patrimonial.

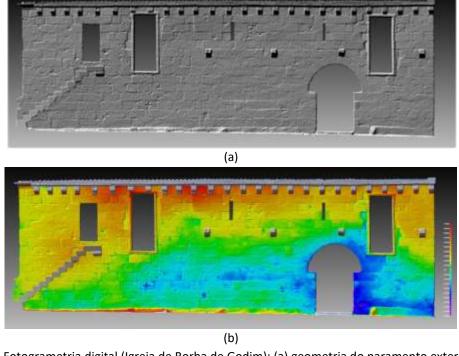


Figura 4.38 - Fotogrametria digital (Igreja de Borba de Godim): (a) geometria do paramento exterior, (b) mapa de deformações para fora do plano.

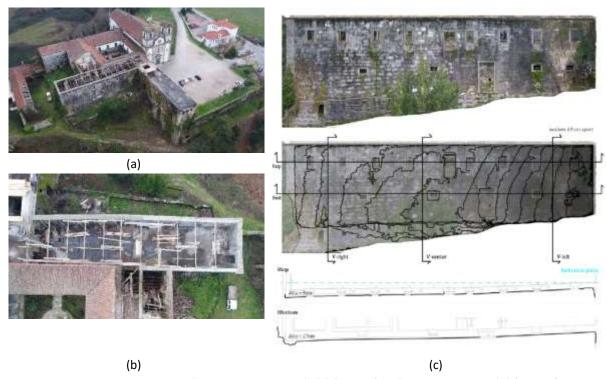


Figura 4.39 - Fotogrametria digital (Mosteiro de Bustelo): (a) fotografia aérea do mosteiro, (b) fotografia aérea da área a intervencionar, (c) análise fotogramétrica de uma das paredes, incluindo modelo digital de parede com plano de referência vertical e cortes longitudinais pela parte inferior e superior da parede para medição de deformações por comparação de medições em períodos distintos.

Em síntese, a crescente evolução tecnológica e disponibilidade de dispositivos digitais de elevado desempenho, aliada à maior capacidade de processamento computacional, aumentou significativamente o âmbito de aplicação das técnicas de aquisição e tratamento de informação, incluindo a Fotogrametria Digital e o Varrimento Laser.

A contínua e crescente digitalização e automatização dos processos da construção em todo o seu ciclo de vida têm implicado uma necessidade crescente de reunir a informação dos ativos físicos sob a forma de modelos digitais. As abordagens mais recentes de manutenção preventiva do património construído dependem em grande medida de modelos de informação digital e de modelos geométricos, ferramentas essenciais que facilitam os processos e que, na sua vertente mais promissora, permitem novas abordagens de reabilitação e manutenção do património construído.

## 4.8 Building Information Modeling (BIM)

#### 4.8.1 O conceito BIM

Em primeiro lugar, é importante clarificar que o BIM não é meramente um software que veio para substituir o CAD e permite modelação tridimensional. O 'Building Information Modeling' (BIM) é uma metodologia de trabalho com partilha da informação e de comunicação entre todos os intervenientes e durante todas as fases do ciclo de vida de uma construção que se apoia num modelo digital tridimensional, acessível por software o qual permite a manipulação virtual dessa mesma construção.

Esse modelo de informação digital contém dados sobre as características geométricas de todos os elementos que compõe um edifício (por exemplo, vigas, pilares, janelas ou tomadas elétricas), mas também inclui as suas propriedades e atributos, sejam eles físicos, sejam os relacionados com o seu custo ou com o tempo necessário para a sua construção (Azenha, M. 2019). Com efeito, a própria expressão 'Building Information Modeling', que traduzida para português resulta em 'Modelação de Informação na Construção', vem precisamente colocar a ênfase na 'Informação', que será utilizada na cadeia de valor da nossa indústria AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação).

Note-se que apesar do BIM se encontrar mais generalizado no contexto dos edifícios (e o presente ponto ter enfoque principal nos mesmos), existem já significativos desenvolvimentos e aplicações práticas no contexto das infraestruturas como estradas, pontes e túneis.

## 4.8.2 O BIM ao longo do ciclo de vida da construção

Para os Construtores há várias importantes possibilidades de melhoria ao recorrer ao BIM em detrimento de processos tradicionais. Ao permitir a manipulação, visualização e análise de uma construção virtual antes da efetiva construção real, é possível antecipar e mitigar problemas que, tradicionalmente, só seriam notados no momento da construção. O BIM pode gerar uma melhor estimativa de custo e produção e ajudar a encontrar cenários de construção alternativos e encontrar potenciais problemas de compatibilidade dos projetos (um cenário que ocorre frequentemente quando a fase de projeto não é encetada em BIM, mas a construção usa metodologias BIM). Também é possível estabelecer de forma mais intuitiva e completa o planeamento de segurança da construção. Tudo isto é possibilitado pelo facto dos modelos BIM

conterem bases de dados riquíssimas em informação 'não gráfica', devidamente indexada aos elementos tridimensionais, permitindo exploração de análises e automatismos até agora inviáveis pelos processos tradicionais. Em termos globais, BIM permitirá obter melhorias ao nível da eficiência, melhores capacidades de previsão, integração e coordenação, menos desperdício e melhor valor e qualidade, auxiliando os mais diversos processos (Hamil, S. 2022).

Para os donos de obra, o BIM facilita a monitorização direta do cumprimento dos requisitos de projeto de modo a que sejam atendidos desde a fase inicial do empreendimento (quer na fase do projeto propriamente dito, quer na fase da construção). É-lhes possível conhecer de forma muito mais profunda o desempenho final do edifício desde as fases iniciais e ter acesso a estudos de cenários alternativos, reduzindo o risco financeiro, e certamente o número de pedidos de alteração a realizar durante todo o processo. Além disso, os projetistas podem analisar cuidadosamente os modelos digitais e realizar simulações de forma mais realista e integrada entre as várias especialidades, recebendo a contribuição dos donos de obra, mais bem informados e mais capazes de colaborar diretamente. Os projetistas também conseguem antecipar o impacto ambiental do edifício, o seu desempenho e agir para melhorá-lo (Azhar, S. et al. 2012).

Para a fase operacional do ciclo de vida da construção, o BIM permite que as informações essenciais sejam encontradas de forma integrada numa única fonte de informação. Para os gestores de instalações, esta base de dados fornece todas as informações sobre o ativo, diminuindo o tempo gasto na busca das informações necessárias entre diferentes fontes. O uso do BIM na fase operacional tem conduzido muitos donos de obra a terem mais uma razão para requerem aos construtores o desenvolvimento do modelo digital da obra, atuando como verdadeiras 'telas finais BIM', com utilidade direta para a gestão da manutenção.

# 4.8.3 Dimensões BIM durante o ciclo de vida da construção

A implementação do BIM pode auxiliar as operações ao longo das diversas fases do ciclo de vida de uma construção, desde o projeto concetual até sua operação e manutenção, incluindo, a demolição da mesma. As chamadas dimensões BIM evoluíram a partir da necessidade de diferenciar a geometria de modelação em duas (2D) ou três dimensões (3D). Com o tempo, como mostra a Figura 4.40, foram adicionados outros aspetos para ajudar todos os intervenientes a melhor compreenderem quais informações se encontram definidas/são requeridas no modelo BIM, criando-se as dimensões BIM (Hamil, S. 2021).

O uso de dimensões BIM pode ser útil nos primeiros estágios da definição de informações, auxiliando na compreensão dos requisitos e na preparação das encomendas do cliente. No entanto, destaca-se que as dimensões BIM não se encontram normalizadas, sendo necessário estabelecer exatamente quais as informações pretendidas no modelo através da definição do nível de informação necessário em detrimento do uso de terminologias como 5D, 6D ou 7D, etc. Para um melhor entendimento do processo de implementação do BIM, incluindo a definição dos requisitos de informação, existem diversas entidades que trabalham no desenvolvimento de guias, manuais e normalizações auxiliares ao processo e que serão citadas em seguida.

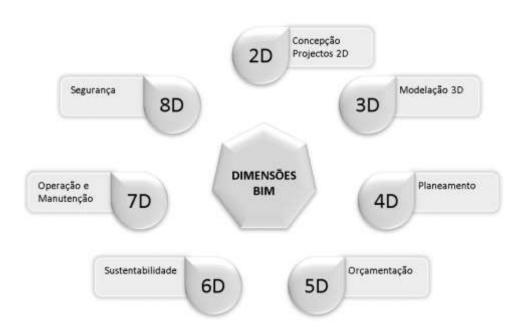


Figura 4.40 - Dimensões BIM

## BIM para projeto (2D e 3D)

O BIM 2D define-se como um modelo geométrico digital que constitui um eixo X e um eixo Y associado a informações adicionais, como parâmetros, restrições e conceitos anexados ao modelo 2D através de ferramentas computacionais.

O BIM 3D, por sua vez, é um modelo geométrico digital tridimensional associado a mais informações, que permite a geração automática de vistas 2D de informações geométricas em diferentes níveis de detalhes, a partir do modelo 3D. Além disso, podem ser extraídas medições de quantidades dos diferentes objetos de construção, de diferentes tipos, contidos no modelo

3D. Estes modelos 3D podem ser federados entre diferentes especialidades de engenharia e arquitetura para relatar quaisquer conflitos geométricos.

### BIM para construção (4D e 5D)

Ao BIM 4D é adicionada a dimensão tempo, estando relacionada com o planeamento do processo de construção. Num 4D BIM adiciona-se informações quanto a sequência de construção, permitindo que a equipa do projeto e construção visualizem melhor como a construção será sequenciada. O 4D BIM foi um grande avanço para a indústria e demonstrou a colaboração entre as equipas de projeto e de construção por meio da coordenação e partilha de modelos 3D (Hamil, S. 2021).

Os dados de planeamento ajudam a delinear a duração de cada atividade do projeto e como este evoluirá ao longo do tempo. Estas informações podem fornecer dados sobre o tempo de instalação ou construção, o tempo necessário para tornar o projeto operacional, a sequência de instalação de vários componentes, além de outras informações de planeamento.

A utilização do BIM 4D auxilia também na deteção precoce de conflitos, na gestão de informações relacionadas com o estado do estaleiro e na visualização do impacto de alterações realizadas durante todo o ciclo de vida. Desta forma, é possível otimizar o planeamento do estaleiro; a coordenação entre arquitetos, empreiteiros e equipas no local; a partilha de informações relacionadas com o cronograma, ajudando a evitar atrasos dispendiosos; e uma maior segurança e eficiência devido à documentação de um plano completo com cronogramas específicos (United BIM, 2022).



Figura 4.41 - Interface do Autodesk Navisworks Fonte - Darós, J. (2019)

O BIM 5D adiciona a dimensão custo ao modelo, permitindo a realização de análises financeiras e a estimativas de custos. O BIM 5D permite que empreiteiros e donos de obra analisem os custos que serão despendidos ao longo do tempo em todas as atividades do projeto. O BIM 5D pode ajudar a prever com precisão os requisitos financeiros, juntamente com os impactos financeiros de mudanças no planeamento, nos materiais, mão-de-obra ou equipamentos (United BIM, 2022).

Para um eficiente modelo 5D, é necessário definir claramente os requisitos específicos. Por exemplo, espera-se que a equipa forneça capital ou custos operacionais? Espera-se que esses custos sejam estimativas pré-adjudicação ou um registo de custos executados? Quem é responsável por adicionar essas informações? Que método de medição deve ser usado?

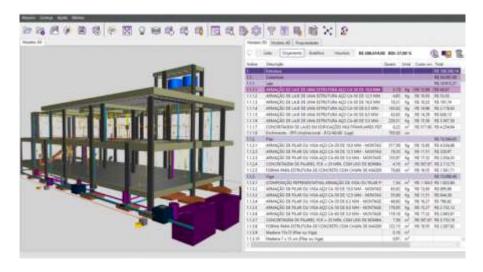


Figura 4.42 - Interface do QiVisus BIM 5D Fonte - Junior, F. (2021)

## BIM para performance (6D, 7D e 8D)

O BIM 6D considera a adição de informações de sustentabilidade ao conjunto de informações, sendo imprescindível definir cuidadosamente as informações específicas necessárias em termos de tipos de dados, planeamento, unidades, regras de medição, etc.

Num BIM 7D são adicionadas informações relativas à gestão de instalações, porém esta definição é pouco consensual na indústria. Ao se discutir o BIM 6D e 7D é altamente recomendável definir precisamente quais as informações necessárias para o modelo, de forma a haver um entendimento claro entre todas as partes envolvidas.

O BIM 8D, por sua vez, refere-se à adição de informações de saúde e segurança ao conjunto de informações.

## 4.8.4 Documentos auxiliares e normalização aplicável

A utilização de metodologias BIM pressupõe trocas de informação entre atores distintos na cadeia de valor AECO. Um dos fatores mais importantes para que a troca de informação tenha sucesso é a padronização a vários níveis. Por essa razão, têm sido preparados ao longo dos anos vários documentos de cariz normativo e não normativo para apoio. Hoje em dia, apesar de ainda haver aspetos passíveis de melhoramento, existe já um conjunto alargado de normas e guias a

nível mundial. Na presente secção é elaborada uma breve descrição de entidades e documentos importantes, particularmente tendo em conta o contexto português.

Em primeiro lugar, é importante assinalar a importância da BuildingSMART, que é uma Associação Internacional com objetivo principal de implementar e promover processos de interoperabilidade de informação em BIM. A BuildingSMART é a entidade responsável pelo formato de dados IFC (Industry Foundation Classes), que é um formato não proprietário que permite trocas de informação de modelos BIM entre vários atores, mesmo que utilizem software proprietário distinto. Este é um dos fatores fundamentais para a viabilização do BIM enquanto metodologia global, e também um importante capacitador de processos de contratação pública que deverão, por princípio, basear-se em formatos abertos.

Enquanto associação internacional, a BuildingSMART tem operado esforços normativos junto da ISO 'International Organization for Standardization', particularmente na comissão ISO/TC 59/SC 13, denominada: 'Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)'. É no contexto desta comissão que foram geradas várias importantes normas ISO relativas ao BIM, das quais se destacam:

- ISO 16739 'Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries', que normaliza o formato de dados aberto IFC, permitindo a implementação nos vários softwares a nível mundial;
- Série ISO 19650 'Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modeling -- Information management using building information modeling', que normaliza processos de gestão de informação e de modelação BIM, com importantes impactos na padronização de interação entre os atores da indústria AECO.

Por outro lado, os esforços normativos do CEN 'European Committee for Standardization' no contexto do BIM já estão em atividade há alguns anos através da CEN TC442 'Building Information Modelling (BIM)', que tem operado ao nível da aprovação e aceitação de normas ISO como normas EN-ISO (como por exemplo as duas normas ISO acima indicadas), que por sua vez podem ao nível dos vários países membros CEN ser tornadas em normas nacionais. Na CEN TC442, é também de assinalar a importante emissão recente da primeira parte da série de normas EN17412 'Building Information Modeling - Level of Information Need', que apoia os

processos de definição e verificação do cumprimento dos requisitos da informação pretendida nas várias trocas inerentes aos processos BIM.

A nível nacional, no âmbito do Instituto Português da Qualidade, está definida a comissão técnica CT197 BIM que opera como comissão nacional que representa Portugal junto da CEN 442 no contexto da discussão e preparação de esforços normativos a nível europeu. Para além disso, a CT197 exerce atividade na tradução de normas europeias (EN) para normas portuguesas (NP EN) com os respetivos anexos nacionais (quando aplicável) e na preparação de outros documentos adicionais como especificações técnicas e guias. Nesse contexto, são de assinalar algumas atividades importantes com impacto na indústria nacional:

- O Guia da Contratação BIM (Costa, A. et al. 2017);
- O Guia 'BIM nas Autarquias' (Costa, A. et al. 2020);
- A especificação técnica 'Plano de Execução BIM' atualmente em aprovação no IPQ;
- A especificação técnica 'Regras para objetos BIM' atualmente em aprovação no IPQ;
- O sistema de classificação nacional, ainda em fase de desenvolvimento;
- A proposta de normalização das estruturas de dados para produtos de construção, designadas em inglês como 'Product Data Templates', ainda em fase de desenvolvimento.

Sendo as metodologias BIM um assunto emergente, é importante que os atores da cadeia de valor estejam atentos às iniciativas normativas, tornando-se capazes de dar resposta às mais recentes exigências do mercado.

## 4.8.5 Software relevante para o Mercado da Construção

A implementação da metodologia nos processos de construção pode ser auxiliada pela utilização de softwares que apresentam diversas finalidades, podendo ser aplicados em diferentes fases e por diferentes intervenientes. Destaca-se que a definição do software mais adequado a um determinado projeto é subjetiva e dependente de contextos muito próprios a nível empresarial e das equipas BIM. As tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, seguidamente apresentadas, trazem sugestões de softwares organizados segundo a finalidade da sua utilização e as principais características de cada um deles.

Tabela 4.2 - Software para Modelação BIM

Software	Caraterísticas
Archicad	Desenvolvimento de arquitetura e infraestruturas
Revit	Desenvolvimento de arquitetura, engenharia e construção; Modelação de
	formas, estruturas e sistemas em 3D com precisão paramétrica
	Documentação: com revisões instantâneas de planos, elevações, cronogramas e
	seções à medida que os projetos mudam
Суре	Modelação de projetos de engenharia em Open BIM, baseada em formatos de
	intercâmbio standard abertos e públicos (IFC)

Tabela 4.3 - Software para Gestão da Construção BIM (4D e 5D)

Software	Caraterísticas
Navisworks	Software de gestão ou compatibilização de projeto BIM desenvolvido pela
	Autodesk. Utilizado na construção como parte do processo BIM. Permite que
	usuários abram e combinem modelos, naveguem em tempo real e revisem os
	modelos
Bexel Manager	Projeto, revisão e análise de dados, levantamentos de quantidade, deteção de
	conflitos, estimativas de custos, mudança de gestão, engenharia de valor, gestão
	de cronograma e gestão de instalações. A plataforma é otimizada para gerir
	grandes projetos, com centenas de arquivos
VICO Office	Gestão de projeto com 3D, 4D e 5D
Trimble Connect	Unificação e partilha de modelos, desenhos e outros documentos

Tabela 4.4 - Software para Visualização BIM e gestão documental integrada

Software	Caraterísticas
Revizto	Gestão integrada para projetistas e construtores, com compatibilidade com a
	maioria das ferramentas Autodesk, Tekla, Microstation e Sketchup
Procore	Plataforma de Gestão da Construção, permite a navegação de modelos e
	compatível com colaboração 2D e 3D em tempo real
Dalux	Colaboração entre modelos 3D, com capacidade de realidade aumentada fácil
	de usar
BIMServer	Plataforma de visualização e colaboração on-line e gratuita, Open BIM. Possui
	diversas aplicações gratuitas, incluindo de desenvolvimento de arquitetura em
	formato IFC

Em conclusão, o Building Information Modeling – BIM é a forma apontada como ideal na organização e gestão de projetos de construção. Em linha com outras indústrias – automóvel, aeroespacial – a construção civil deverá beneficiar com a gestão integrada de todos os elementos da construção num formato universal (isto é, facilmente acessível por todos os intervenientes) e tendencialmente tridimensional (tal como a obra real), reduzindo erros de

compatibilidade entre especialidades, nas medições, e aumentando a transparência e capacidade colaborativa, que por sua vez permite uma melhor otimização de todos os recursos aplicados.

Como todas as inovações, existe uma resistência na sua adoção, até porque estas exigem inicialmente um esforço intelectual e financeiro. No entanto, esta tendência inflacionária rapidamente é substituída por uma deflação, pois as poupanças que resultam da sua adoção são, tendencialmente, muito superiores aos seus custos. Isto é importante compreender, pois a não adoção destas novas metodologias resultará, inevitavelmente, numa falta de competitividade das empresas.

É, pois, essencial que se compreenda o significado das várias possibilidades associadas ao trabalho em BIM, as vantagens para cada interveniente, o enquadramento normativo e as possíveis formas de operacionalização desta forma organizacional.

## 4.9 Conclusões e Recomendações

É hoje já evidente que a evolução tecnológica possui um enorme potencial para as empresas e constitui uma grande oportunidade de inovação e de integração num setor crescentemente globalizado e competitivo.

De modo geral, as empresas de construção e reabilitação devem estar atentas e preparadas para responder aos desafios que emergem com a Revolução Industrial 4.0, promovendo a inovação e a modernização tecnológica, o que lhes vai permitir desenvolver novos processos construtivos e obter melhores resultados nas suas atividades.

Ao longo deste capítulo foi possível constatar como a transferência de novas tecnologias para o setor e a capacitação dos seus profissionais aos mais variados níveis, constituem vetores essenciais para a mudança organizacional e tecnológica que se necessita e deseja.

Neste sentido, foram evidenciados os objetivos, os requisitos, as transformações e as mais-valias que supõem para a reabilitação urbana a implementação de diversas vertentes de cariz tecnológico, como são: a Pré-fabricação e Construção Modular; a Impressão 3D e Manufatura Aditiva; a Construção Autónoma; a Monitorização Wireless e Equipamento Conectado; o Big Data e Análise Preditiva; a Realidade Aumentada e Virtualização; a Fotogrametria e Varrimento Laser; e o Building Information Modeling (BIM).

A **Pré-fabricação e Construção Modular** são soluções concebidas e dimensionadas em gabinete e pré-produzidas/modeladas em fábrica, implicando uma boa articulação projeto-fábrica-obra. São utilizadas de forma crescente em praticamente todos os tipos de obras, tanto na construção como na reabilitação de edifícios, infraestruturas e obras de arte. De salientar que a Préfabricação e a Construção Modular possibilitam aumentar o grau de industrialização e a produtividade na construção, diminuindo consideravelmente o tempo de execução no local da obra.

No caso da Impressão 3D e Manufatura Aditiva, algumas empresas e centros de investigação têm vindo a investir no desenvolvimento de diferentes projetos, com diferentes escalas, demonstrando o potencial desta nova tecnologia de construção. As capacidades de automação, alinhadas com potencial de redução de custos e da pegada ecológica, bem como possibilidade de conceber elementos com geometrias complexas, tornam a Impressão 3D numa ferramenta muito apelativa para a construção. No entanto, sendo uma tecnologia relativamente recente e, por isso, ainda num estado embrionário em Portugal, urge a necessidade de unir esforços entre

a comunidade científica, técnica e a indústria para tornar a impressão 3D uma técnica de construção corrente.

A **Construção Autónoma** constitui um instrumento que facilita o trabalho, na medida que permite executar tarefas de maneira automática, podendo ser aplicado em diferentes aspetos e vertentes relacionados com as diversas atividades e processos empresariais. De facto, através de técnicas computadorizadas e/ou mecânicas a Construção Autónoma dinamiza e otimiza os processos produtivos de muitos trabalhos realizados na reabilitação urbana.

Para além de aumentar os índices produtivos e competitivos das empresas, a Construção Autónoma reduz o custo da mão-de-obra e diminui o prazo de execução das obras, bem como minora os acidentes de trabalho e das doenças profissionais, sendo indicada para ambientes de trabalho hostis (locais afetados por desastres naturais, zonas de guerra ou locais inóspitos).

A Monitorização Wireless e o Equipamento Conectado possibilitam conectar vários componentes e equipamentos de uma construção ou de uma reabilitação entre si, e a sistemas computadorizados, obtendo-se ganhos de informação e eficiência que se traduzem também em ganhos de operacionalidade, competitividade e rentabilidade, essencialmente nas áreas de gestão e direção técnica da obra, de operações de transporte, de eficiência energética, de manutenção e de saúde e segurança.

Entre os principais campos de aplicação da Monitorização Wireless e do Equipamento Conectado são de salientar a monitorização em tempo real de estruturas de edifícios e pontes no respeitante a deformações, tensões, temperaturas atingidas e velocidades do vento, tanto em fase de construção como em fase de utilização, o que constitui uma informação muito relevante no momento da decisão de empreender uma possível obra de reabilitação. Estes sistemas da Internet das Coisas são cada vez mais utilizados como sensores instalados em máquinas e equipamentos em obra, dando indicações sobre, por exemplo, o desgaste e o consumo de energia, assim como podem igualmente ser colocados nas peças de vestuário servindo para controlar o estado de saúde dos trabalhadores e para enviar sinais de alerta importantes em caso de algum perigo.

No que concerne ao **Big Data e Análise Preditiva**, trata-se de instrumentos que permitem o desenvolvimento de técnicas estatísticas e de otimização avançada de apoio à decisão e à gestão das empresas. Baseados numa grande quantidade de informação, e através da conjugação de algoritmos de inteligência artificial e técnicas de otimização, é possível reduzir ineficiências e erros de decisão, permitindo opções mais assertivas e sustentadas.

O Big Data e Análise Preditiva possibilitam a simplificação, otimização e resolução de problemas de Engenharia Civil, sendo aplicados em diferentes áreas das empresas de construção e reabilitação, nomeadamente ao nível da tomada de decisão, da gestão e do relacionamento com os clientes.

A **Realidade Aumentada e a Virtualização** são tecnologias particularmente úteis para visualizar e simular atividades da construção que decorrem num ambiente real ou fictício, sem exigir que os utilizadores necessitem de um conhecimento específico para o efeito. Constituem, assim, interfaces imersivas simples e amigáveis que possibilitam aumentar a utilização de modelos digitais durante todo o ciclo de vida das construções. Com efeito, estas tecnologias facultam a introdução de imagens detalhadas no campo visual do utilizador, sendo muito eficientes para dar informações relativas às obras em qualquer local desejado.

Assim, a Realidade Aumentada, entre outras aplicações, é usada para revelar elementos construtivos ocultos ou para apresentar informação operacional sobre gestão de ativos durante visitas ao local. A Virtualização é utilizada para desenvolver e comunicar opções de projeto, para rever a qualidade de modelos tridimensionais de projeto, ou para antever situações que possam ocorrer durante a fase de construção. De destacar que ao possibilitarem a simulação de propriedades físicas de objetos, permitem a representação de situações de perigo potencial e, também, promovem a sensibilização dos trabalhadores para as práticas de segurança em obra.

A Fotogrametria Digital e o Varrimento Laser são técnicas de levantamentos precisas, mas expeditas, da geometria e das principais anomalias das construções, sendo muito úteis nas intervenções de reabilitação. A Fotogrametria Digital disponibiliza informação métrica sobre objetos físicos através de mediação e interpretação de imagens fotográficas e o Varrimento Laser permite determinar coordenadas ou outras propriedades de um objeto com base na sua resposta à iluminação com radiação laser.

A Fotogrametria Digital e o Varrimento Laser têm muitas aplicações no setor da construção e reabilitação, nomeadamente no mapeamento e análise de patologias, na medição de grandes deformações e identificação de problemas estruturais, nas medições topográficas e avaliação de volumetrias em contextos de escavações e aterros, no planeamento de intervenções de reabilitação e ampliação de construções, na criação de modelos digitais utilizados na preservação e restauro de espaços sensíveis e de elementos decorativos e arquitetónicos antigos, entre muitas outras aplicações.

O 'Building Information Modeling' (BIM) é uma metodologia de trabalho com partilha da informação e de comunicação entre todos os intervenientes e durante todas as fases do ciclo de vida de uma construção que se apoia num modelo digital tridimensional, acessível por software, o qual permite a visualização, análise e manipulação virtual dessa mesma construção.

O BIM melhora a capacidade de previsão, integração e coordenação na execução das obras, contribuindo para potenciar a sua qualidade e o valor acrescentado. Em particular, antecipa, identifica e mitiga problemas de projeto que, muitas vezes, só seriam detetados no momento da construção real (erros de cálculo, de compatibilidade de projeto, etc.). Deste modo, permite encontrar cenários de construção alternativos, diminuindo o número de pedidos de alteração durante todo o processo construtivo. De igual modo, o BIM permite estabelecer de forma mais intuitiva e completa o planeamento de segurança da construção, reduzindo o impacto ambiental das obras e tornando mais eficiente a gestão da manutenção. Desta forma, o BIM contribui para aperfeiçoar as estimativas orçamentais e para limitar o risco financeiro dos investimentos.

Assim sendo, constata-se que os benefícios do BIM são inúmeros, pelo que ele é crescentemente usado em todo o tipo de obras, nomeadamente em edifícios (mais generalizado) e infraestruturas como estradas, pontes e túneis.

Em suma, face às imensas aplicações e muitas vantagens que o desenvolvimento destas vertentes tecnológicas representa para o setor da construção e reabilitação em geral, e para as suas empresas em particular, é fundamental que sejam criadas as condições e disponibilizados os requisitos necessários para a sua crescente utilização entre as empresas do setor.

Como acontece com todas as inovações, existe sempre alguma resistência na sua adoção, até porque estas exigem inicialmente um esforço intelectual e financeiro significativo. No entanto, esta tendência rapidamente se altera, com a inflação de despesas a ser substituída pela deflação, pois as poupanças que resultam da sua implementação são, tendencialmente, muito superiores aos seus custos. É importante compreender isto, pois a não adoção destas novas tecnologias resultará, inevitavelmente, numa perda de competitividade das empresas na Reabilitação Urbana 4.0.