



## MANUAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

---

# OS DESAFIOS E AS SOLUÇÕES NA REABILITAÇÃO URBANA 4.0

Materiais, Tecnologias, Recursos Humanos e Segurança

# 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

---



## AICCOPN

Associação dos Industriais da Construção  
Civil e Obras Públicas



# R.U.-IS.

**REABILITAÇÃO URBANA**  
INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

Cofinanciado por



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

## **EQUIPA TÉCNICA**

### **Pela Universidade Fernando Pessoa**

Professor Doutor Miguel Branco-Teixeira (Coordenador Geral)  
Professor Doutor Miguel Ferreira (Coordenador Temático)  
Professor Doutor José Coimbra  
Professora Doutora Celeste Almeida  
Professor Doutor Leonel Ramos

### **Pela Universidade do Minho**

Professor Doutor Daniel Oliveira (Coordenador Temático)  
Professor Doutor Eduardo Pereira  
Professor Doutor José Campos e Matos  
Professor Doutor Miguel Azenha  
Professor Doutor João Pedro Couto  
Professor Doutor Rui Silva  
Professor Doutor Joaquim Tinoco  
Professor Doutor José Granja  
Doutoranda Andressa Oliveira

### **Pela Universidade de Aveiro**

Professora Doutora Ana Luísa Velosa (Coordenadora Temática)  
Professor Doutor Miguel Morais

### **Pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

Professor Doutor Humberto Varum (Coordenador Temático)  
Professor Doutor Patrício Rocha  
Professor Doutor J. P. Poças Martins  
Professor Doutor Miguel Castro  
Professor Doutor J. Paulo Guedes  
Professora Doutora Ana Mafalda Matos  
Professor Doutor Fábio Matoseiro Dinis

### **Pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro**

Professora Doutora Anabela Paiva (Coordenadora Temática)  
Professora Doutora Isabel Bentes  
Professor Doutor Tiago Pinto  
Professora Doutora Cristina Reis  
Professor Doutor Carlos Afonso Teixeira  
Professora Doutora Ana Sá  
Professora Doutora Sandra Pereira  
Professora Doutora Cristina Matos  
Professor Doutor José Boaventura Cunha  
Professor Doutor António Valente  
Professora Doutora Caroline Dominguez

### **Pelo Instituto Politécnico de Viana do Castelo**

Professor Doutor Carlos Oliveira

## AGRADECIMENTOS

Ao concluir este projeto de investigação sobre “*Os Desafios e as Soluções na Reabilitação Urbana 4.0 - Materiais, Tecnologias, Recursos Humanos e Segurança*” não podemos deixar de manifestar o nosso agradecimento a Todos aqueles que contribuíram para tornar possível a sua elaboração, e em particular:

Ao Presidente da Direção da AICCOPN, Senhor Engenheiro Reis Campos, pela sua defesa intransigente dos interesses das empresas que representa, pela sua visão estratégica em prol do desenvolvimento e da modernização tecnológica do setor da construção e imobiliário em Portugal, e pela sua decisão em encomendar este projeto de investigação ao Centro de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Civil e Qualidade (CIDEQ) da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa.

À Sra. Dra. Sónia Oliveira, Secretária-geral da AICCOPN, pelo seu permanente acompanhamento e atenção com o decorrer do projeto de investigação, colocando ao dispor da equipa todos os recursos necessários para a sua concretização.

Ao Sr. Dr. Paulo Lobo, responsável pelos Serviços de Economia e Fiscalidade da AICCOPN, cuja iniciativa e empenho foram fundamentais para a realização do estudo. As suas orientações, a partilha de ideias e a troca de opiniões com a equipa em muito concorreram para a melhoria deste estudo.

Ao Sr. Dr. João Afonso pelo constante apoio e disponibilidade para fornecer todos os dados e informações necessárias à elaboração do estudo.

À Sr.<sup>a</sup> Eng.<sup>a</sup> Cristina Cardoso, responsável pelos Serviços de Engenharia e Alvarás da AICCOPN, pela sua gentileza, apoio e atenção. A sua ajuda foi importante na materialização do trabalho.

Um agradecimento às empresas de construção e reabilitação, associadas da AICCOPN, que com as suas questões e o seu envolvimento nas atividades desenvolvidas pela Associação dão um contributo inestimável para o desenvolvimento da investigação que está na fase da realização deste projeto.

Um agradecimento final a todos os colaboradores da AICCOPN pela amabilidade e disponibilidade que sempre demonstraram para com a nossa equipa.

A Todos o nosso sincero obrigado.

## RESUMO

O presente projeto de investigação “Os Desafios e as Soluções na Reabilitação Urbana 4.0 - Materiais, Tecnologias, Recursos Humanos e Segurança” visa refletir sobre as transformações e os novos desafios que a chegada da 4ª revolução industrial coloca à fileira da construção, tendo especialmente em análise o desenvolvimento e aplicação de diversas ferramentas de âmbito predominantemente tecnológico na Reabilitação Urbana 4.0. A inovação e a tecnologia ganham espaço na fileira da construção e da reabilitação, como o caminho natural para aumentar a sua competitividade e produtividade, e este projeto procura evidenciar as aplicações e os benefícios que a Reabilitação Urbana 4.0 pode trazer às empresas de construção e reabilitação e à economia do nosso País.

Este Manual de Inovação e Sustentabilidade pretende apoiar a identificação, estruturação e desenvolvimento de uma resposta atenta às necessidades atuais e futuras da sociedade, com as estratégias de intervenção face aos desafios e às soluções da Reabilitação Urbana 4.0.

Neste sentido, no primeiro capítulo, é apresentada uma breve descrição histórica do impacto civilizacional das revoluções industriais, perspetivando essencialmente as transformações provocadas pela 4ª Revolução Industrial e pelo desenvolvimento da construção e da Reabilitação 4.0, num momento em que Portugal irá receber um apoio financeiro muito considerável proveniente da União Europeia e em que, como consequência, será confrontado com um previsível aumento do volume de obras.

De seguida, no segundo capítulo são focadas as questões do conforto e da sustentabilidade na Reabilitação 4.0, salientando-se a relevância da Economia Circular, da Eficiência Energética e do Conforto Interior dos Edifícios enquanto vetores essenciais na execução de obras.

O terceiro capítulo trata dos Materiais de Construção Avançados, designadamente caracterizando os materiais tradicionais e não tradicionais aplicados na reabilitação, identificando novos materiais (materiais sustentáveis, ecomateriais, nanomateriais, ...) e destacando os problemas que a sua utilização coloca, bem como soluções e propostas de melhoria possíveis para os materiais empregues nos processos de reabilitação.

As diversas vertentes tecnológicas da Reabilitação Urbana 4.0 são abordadas no quarto capítulo. Assim, são caracterizados os principais processos relacionados com a pré-fabricação e a

construção modular, a impressão 3D e a manufatura aditiva, a construção autónoma, a monitorização wireless e o equipamento conectado, o Big data e análise preditiva, a realidade aumentada e a virtualização, a fotogrametria e o varrimento laser, e o Building Information Model (BIM). Para o efeito, recorre-se a exemplos didáticos de fácil compreensão, dando a conhecer as numerosas aplicações e as significativas vantagens da utilização destas ferramentas tecnológicas no setor da construção.

A temática dos recursos humanos enquanto fator decisivo para a Reabilitação Urbana 4.0 é desenvolvida no quinto capítulo, onde se realiza um diagnóstico da situação atual, analisam-se os principais problemas relacionados com a carência e falta de preparação dos recursos humanos e identificam-se possíveis soluções. É assim realçada a importância de atrair e reter profissionais no setor, de disponibilizar cursos de formação específicos e de certificar as qualificações, dada a necessidade de adaptar os recursos humanos à Reabilitação 4.0. Está pois em causa a forma de recrutamento, a carreira profissional e a valorização profissional dos recursos humanos, ou seja debate-se o “Status social” dos trabalhadores da construção. De referir ainda que neste capítulo merecem particular atenção dois assuntos de elevada sensibilidade, pertinência e relevância da atualidade como são a emigração/imigração de trabalhadores e a inclusão profissional das mulheres e dos jovens no setor.

O sexto capítulo centra-se nas questões da Segurança e Saúde na Reabilitação Urbana 4.0. Os novos materiais, as novas tecnologias e os novos processos construtivos utilizados com a Reabilitação Urbana 4.0, envolvem riscos não convencionais e implicam abordagens diferentes das tradicionais. Neste contexto, são avaliados os trabalhos associados com riscos especiais na Reabilitação 4.0, analisados os acidentes e doenças profissionais que podem provocar e indicados os princípios gerais de prevenção ao nível dos equipamentos de proteção individual (EPI) e dos equipamentos de proteção coletiva (EPC), bem como as medidas preventivas de segurança e saúde na reabilitação 4.0.

Numa faceta diferente, mas igualmente essencial, o sexto capítulo incide sobre o uso das novas tecnologias 4.0 aplicadas à segurança, referindo em particular as aplicações e vantagens dos veículos aéreos não tripulados, da realidade virtual através da modelagem da informação da construção (BIM), dos sensores vestíveis, do controlo informático e da monitorização eletrónica das obras e da Internet das Coisas, como uma nova realidade que se irá intensificar nos próximos anos.

Por último, o sétimo capítulo expõe as conclusões gerais do projeto de investigação, realçando-se os desafios e as soluções na Reabilitação Urbana 4.0, tendo em particular consideração os vetores conforto e sustentabilidade, materiais, tecnologias, recursos humanos, segurança e saúde. As ilações obtidas pelo trabalho realizado, e as reflexões posteriores de uma extensa equipa de 32 académicos oriundos de várias universidades possibilitou que se elenquem um conjunto de recomendações quer para as empresas da construção, quer para as entidades com responsabilidades pelo setor, as quais são certamente não só um contributo para melhoria do setor da construção, mas igualmente uma mais-valia para o desenvolvimento e incremento da qualidade de vida no País.

O Manual de Inovação e Sustentabilidade inclui ainda uma Separata, constituída por sumários executivos relativos aos diferentes capítulos e por um conjunto de fichas técnicas com orientações úteis para as empresas de construção e reabilitação.

## ÍNDICE GERAL

Agradecimentos.....	4
Resumo.....	5
Índice Geral.....	8
Índice de Figuras.....	13
Índice de Tabelas.....	21
<b>Capítulo 1 – A Revolução industrial 4.0 e o seu Impacto nas Atividades da Construção e Reabilitação.....</b>	<b>23</b>
1.1 As revoluções industriais.....	23
1.2 A Construção e a Reabilitação 4.0.....	26
1.3 Enfrentar os desafios, preparar o amanhã da construção e da reabilitação.....	30
<b>Capítulo 2 – Conforto e Sustentabilidade na Reabilitação 4.0.....</b>	<b>37</b>
2.1 Sustentabilidade e Economia Circular.....	37
2.1.1 Sustentabilidade.....	37
2.1.2 Economia Circular.....	49
2.1.3 Análise de ciclo de vida como ferramenta para avaliação da sustentabilidade.....	61
2.2 Eficiência Energética e Conforto Interior dos Edifícios.....	65
2.2.1 Introdução aos conceitos de eficiência energética e conforto interior dos espaços..	65
2.2.2 Melhoria da eficiência energética na reabilitação de edifícios.....	66
2.2.3 Contribuição dos sistemas solares passivos para a reabilitação energética.....	75
2.2.4 Melhoria do conforto interior dos espaços úteis na reabilitação de edifícios.....	81
2.2.5 Sistema de controlo de energia na Reabilitação 4.0.....	85
2.3 Conclusões e Recomendações.....	91

<b>Capítulo 3 – Materiais de Construção Avançados.....</b>	<b>97</b>
3.1 Materiais tradicionais e não tradicionais aplicados na reabilitação.....	97
3.1.1 Materiais tradicionais.....	97
3.1.2 Materiais não tradicionais.....	109
3.2 Requisitos que devem cumprir os materiais usados na Reabilitação 4.0.....	113
3.3 Novos materiais na Reabilitação 4.0.....	114
3.3.1 Materiais incorporando resíduos.....	115
3.3.2 Materiais naturais.....	118
3.3.3 Materiais estruturais.....	120
3.3.4 Novos materiais de revestimento.....	123
3.3.5 Novos materiais para cozinhas e instalações sanitárias.....	126
3.3.6 Novos materiais para caixilharias.....	127
3.4 Características técnicas e modo de aplicação dos materiais.....	128
3.5 Identificação e análise de problemas relacionados com os materiais.....	129
3.8 Conclusões e Recomendações.....	130
<b>Capítulo 4 – Tecnologias na Reabilitação Urbana 4.0.....</b>	<b>132</b>
4.1 Pré-fabricação e Construção Modular.....	132
4.1.1 Os conceitos de pré-fabricação e de construção modular na reabilitação.....	132
4.1.2 Soluções já existentes no mercado/aplicadas em obra ou em desenvolvimento.....	132
4.1.3 Vantagens e inconvenientes das soluções.....	135
4.2 Impressão 3D e Manufatura Aditiva.....	137
4.2.1 Os conceitos de Impressão 3D e de Manufatura Aditiva.....	137
4.2.2 Impressão 3D para a Construção.....	138
4.2.3 Vantagens e desafios da Impressão 3D.....	139

4.3	Construção Autónoma.....	141
4.3.1	O Conceito da automação na construção.....	141
4.3.2	Breve historial da introdução da automação na indústria da construção.....	142
4.3.3	Exemplos de automação na indústria da construção e da reabilitação.....	144
4.4	Monitorização Wireless e Equipamento Conectado.....	151
4.4.1	Os conceitos de Monitorização Wireless e Equipamento Conectado.....	151
4.4.2	Requisitos para a implementação da Internet das Coisas (IoT).....	152
4.4.3	Campos de Aplicação da Monitorização Wireless e do Equipamento Conectado.....	152
4.5	Big Data e Análise Preditiva.....	154
4.5.1	Os conceitos de Big Data e de Análise Preditiva.....	154
4.5.2	A implementação do Big Data e a sua utilização pelas empresas.....	154
4.5.3	Modelos preditivos e de apoio à decisão.....	160
4.6	Realidade Aumentada e Virtualização.....	163
4.6.1	Os conceitos de Realidade Aumentada e de Virtualização.....	163
4.6.2	Visualização e anotação de modelos tridimensionais.....	163
4.6.3	Segurança em obra.....	166
4.6.4	Captura da realidade.....	166
4.6.5	Enriquecimento semântico de modelos para gestão de ativos.....	167
4.7	Fotogrametria e Varrimento Laser.....	170
4.7.1	Os Conceitos de Fotogrametria e Varrimento Laser.....	170
4.7.2	Características e funções.....	170
4.7.3	Vantagens e Inconvenientes.....	172
4.7.4	Aplicações da Fotogrametria e do Varrimento Laser.....	174
4.8	Building Information Modeling (BIM).....	178
4.8.1	O conceito BIM.....	178
4.8.2	O BIM ao longo do ciclo de vida da construção.....	178

4.8.3	Dimensões BIM durante o ciclo de vida da construção.....	179
4.8.4	Documentos auxiliares e normalização aplicável.....	183
4.8.5	Software relevante para o Mercado da Construção.....	185
4.9	Conclusões e Recomendações.....	188
<b>Capítulo 5 – Recursos Humanos na Reabilitação Urbana 4.0.....</b>		<b>192</b>
5.1	Introdução.....	192
5.2	Caracterização da situação atual.....	193
5.2.1	Falta de recursos humanos.....	193
5.2.2	Causas da falta de recursos humanos.....	195
5.3	Estratégias para a resolução da situação atual de falta de recursos humanos especializados.	204
5.4	Desafios da Reabilitação 4.0 no mercado de trabalho.....	209
5.4.1	Reequacionar a formação e as profissões.....	210
5.4.2	Atrair e manter os trabalhadores na Reabilitação 4.0.....	213
5.4.3	A inclusão profissional no setor – mulheres e jovens.....	214
5.5	Conclusões e Recomendações .....	215
5.5.1	Conclusões.....	215
5.5.2	Recomendações para as empresas da construção.....	215
5.5.3	Recomendações para as entidades responsáveis pelo setor.....	216
<b>Capítulo 6 – Segurança e Saúde na Reabilitação Urbana 4.0.....</b>		<b>220</b>
6.1	Introdução da segurança e saúde nas obras de Reabilitação.....	220
6.2	Regulamentação e Normalização.....	220
6.3	Inspeção e diagnóstico dos materiais com riscos especiais nas obras a reabilitar.....	231
6.3.1	Listagem de materiais com riscos especiais.....	239
6.4	Novas tecnologias na Construção/Reabilitação.....	244

6.5	Listagem de trabalhos com riscos especiais.....	253
6.5.1	Avaliação de riscos na Reabilitação Urbana 4.0.....	256
6.5.2	Análise de acidentes e doenças profissionais na Construção/Reabilitação.....	262
6.6	Aplicação dos princípios gerais de prevenção na Reabilitação.....	264
6.6.1	Equipamentos de proteção coletiva (EPC) na Reabilitação 4.0.....	265
6.6.2	Equipamentos de proteção individual (EPI) na Reabilitação 4.0.....	267
6.6.3	Informação e Formação para a segurança e saúde na Reabilitação 4.0.....	268
6.7	Medidas preventivas de segurança e saúde na Reabilitação 4.0.....	269
6.7.1	Particularidades da segurança e saúde na Reabilitação 4.0.....	270
6.7.2	Empresas especializadas na execução de tarefas na Reabilitação 4.0.....	272
6.8	Uso de novas tecnologias 4.0 aplicadas à segurança.....	274
6.8.1	Veículos aéreos não tripulados (VANT).....	278
6.8.2	Realidade virtual através da modelagem da informação da construção (BIM).....	280
6.8.3	Sensores vestíveis, controlo informático e monitorização eletrónica das obras.....	281
6.8.4	Internet das Coisas (IoT) e a segurança.....	282
6.9	Conclusões e Recomendações.....	283
	<b>Capítulo 7 – Conclusões e Recomendações Gerais.....</b>	<b>287</b>
	<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>298</b>
	<b>SEPARATA.....</b>	<b>306</b>
	<b>Fichas Técnicas com Orientações Úteis para as Empresas.....</b>	<b>307</b>
	<b>Sumários Executivos dos Capítulos.....</b>	<b>319</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Caraterísticas das Revoluções Industriais.....	24
Figura 1.2	Vertentes de cariz tecnológico da Construção e da Reabilitação 4.0.....	28
Figura 2.1	Triângulo da Sustentabilidade.....	38
Figura 2.2	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	39
Figura 2.3	Cobertura verde em parque de estacionamento (Parque Camões, Guimarães)	42
Figura 2.4	Fachadas verdes em edifícios multifamiliares em Madrid (esquerda) e em Milão (direita).....	42
Figura 2.5	Componentes da cobertura verde.....	45
Figura 2.6	Fachada verde direta (à esquerda) e indireta (direita).....	46
Figura 2.7	Lagoas de cura.....	47
Figura 2.8	Sistema de aproveitamento de água pluvial.....	48
Figura 2.9	Sistema de recolha e armazenamento de água pluvial de escorrência.....	49
Figura 2.10	Economia Circular.....	50
Figura 2.11	Exemplo de materiais de construção provenientes da desconstrução de algumas obras e com grande potencial de reutilização.....	57
Figura 2.12	Exemplo de agregados provenientes de algumas obras, triados e com grande potencial de reciclagem.....	59
Figura 2.13	Edifícios construídos com materiais reutilizados.....	59
Figura 2.14	Ciclo de Vida dos Produtos.....	61
Figura 2.15	Fases da Análise de Ciclo de Vida.....	62
Figura 2.16	Representação genérica de um sistema de produto.....	63
Figura 2.17	Diferenciação de estratégias de avaliação de desempenho ambiental.....	64
Figura 2.18	Valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica para elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação.....	67

Figura 2.19	Valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica para elementos da envolvente envidraçada dos edifícios de habitação.....	68
Figura 2.20	Comparação entre Coeficientes de Transmissão Térmica Prevista na Legislação Atual e nas Regras Passivhaus.....	71
Figura 2.21	Construção com sistema solar fotovoltaico com bateria de 3 módulos.....	75
Figura 2.22	Paredes de Trombe na Casa Shafer (Porto Santo).....	76
Figura 2.23	Exemplos de aplicação de paredes de Trombe: a) em adobe; b) em alvenaria de pedra irregular.....	76
Figura 2.24	Modo de funcionamento da Parede de Trombe: a) Inverno: período diurno; b) Inverno: período noturno; c) Verão: período diurno; d) Verão: período noturno.....	78
Figura 2.25	Sistema de controle e automação da parede de Trombe com transmissão de dados via LoRaWAN.....	80
Figura 2.26	Grelhas de ventilação reguláveis e auto-reguláveis.....	85
Figura 3.1	Alvenaria de granito (cantaria).....	98
Figura 3.2	Pavimento em madeira.....	99
Figura 3.3	Revestimento interior com cal aérea.....	100
Figura 3.4	Teto estucado.....	101
Figura 3.5	Argamassa de junta em terra.....	103
Figura 3.6	Azulejo de revestimento de fachada.....	104
Figura 3.7	Aplicação de cobre em sistemas de drenagem de águas pluviais em coberturas.....	107
Figura 3.8	Exemplos de aplicação de zinco.....	107
Figura 3.9	Exemplos de aplicação de zinco em património religioso.....	108
Figura 3.10	Exemplos de detalhes construtivos da aplicação de zinco em património religioso.....	108
Figura 3.11	Aproveitamento de RCD para o fabrico de blocos.....	116

Figura 3.12	Blocos de resíduos comprimidos com diferentes percentagens de resíduos de construção e de poliuretano.....	116
Figura 3.13	Materiais de isolamento térmico e acústico à base de resíduos têxteis.....	117
Figura 3.14	Incorporação de resíduos têxteis em elementos de construção leve.....	118
Figura 3.15	Aplicação de lã de ovelha como material de isolamento térmico.....	118
Figura 3.16	Incorporação de granulado de carolo de espiga de milho na produção de placas e blocos de betão leve.....	119
Figura 3.17	Incorporação de casca de pinheiro na produção de placas de revestimento.....	120
Figura 3.18	Estrutura metálica.....	120
Figura 3.19	Reforço estrutural com inclusão de pilar metálico numa obra de reabilitação..	121
Figura 3.20	Reabilitação com ampliação de um piso com recurso a estrutura em aço leve..	122
Figura 3.21	Aplicação de GLULAM ao nível da cobertura.....	122
Figura 3.22	Axonometrias (esquerda) e alçados (direita) relativos a diferentes extensões verticais de um edifício antigo.....	123
Figura 3.23	Subtelha tipo Onduline betuminosa.....	123
Figura 3.24	Fachada com revestimento em chapa metálica.....	124
Figura 3.25	Alguns materiais de isolamento térmico para paredes.....	124
Figura 3.26	Isolamento de pavimento com lã mineral.....	125
Figura 3.27	Tela anti-radão aplicada em pavimento térreo.....	125
Figura 3.28	Exemplo de aplicação de ladrilho cerâmico ao nível do pavimento térreo.....	126
Figura 3.29	Exemplo de aplicação de azulejo como revestimento de parede numa instalação sanitária num edifício reabilitado.....	127
Figura 3.30	Vão de porta de alumínio lacado com vidro duplo e remate de silicone.....	128
Figura 4.1	Empresa especializada em construção modular à base de contentor metálico.	132
Figura 4.2	Exemplo de casa modular de madeira (CASADIFF).....	133
Figura 4.3	Ampliação em altura em madeira.....	133
Figura 4.4	Sistema CREE do Grupo Casais.....	133

Figura 4.5	Mobak – WC modular da OLI – Sistemas sanitários.....	134
Figura 4.6	Parede sandwich modular em desenvolvimento pela Universidade de Aveiro em conjunto com a OLI – Sistemas Sanitários SA.....	134
Figura 4.7	Paredes de frontal a integrar em construções tradicionais de alvenaria e madeira.....	135
Figura 4.8	Ponte pedonal pré-fabricada em GLULAM.....	136
Figura 4.9	A primeira casa totalmente impressa em 3D na Europa, Eindhoven, nos Países Baixos.....	138
Figura 4.10	Primeira construção em impressão 3D com materiais naturais.....	139
Figura 4.11	Exemplo de Contour Crafting.....	145
Figura 4.12	A Radiolaria, impressa na máquina de Enrico Dini, exemplo de D-shape.....	145
Figura 4.13	O primeiro edifício impresso em 3D da Europa em apenas 3 dias.....	146
Figura 4.14	A impressão 3D de uma residência na Alemanha.....	147
Figura 4.15	Vista superior da impressão 3D de uma residência na Alemanha.....	147
Figura 4.16	OutoBot, um robô inovador para lavar e pintar arranha-céus.....	148
Figura 4.17	Robô para colocação de tijolos.....	149
Figura 4.18	Utilização de drones na indústria da construção.....	149
Figura 4.19	Utilização de um exoesqueleto na indústria de construção.....	150
Figura 4.20	Exoesqueleto disponível para a indústria de construção no Canadá.....	150
Figura 4.21	Os edifícios e os equipamentos conectados.....	151
Figura 4.22	Evolução do volume de dados por ano em zettabytes.....	156
Figura 4.23	Evolução do número de transístores integrados em chips.....	157
Figura 4.24	Popularidade dos algoritmos de inteligência artificial ao longo do tempo.....	158
Figura 4.25	Número de variáveis usadas nos modelos entre todas as soluções ótimas de Pareto.....	161
Figura 4.26	Resultados do processo de otimização através do Diagrama de Pareto.....	162
Figura 4.27	Ambiente imersivo para revisão de modelos BIM.....	164

Figura 4.28	Utilização de Realidade Aumentada para interação com modelos BIM.....	164
Figura 4.29	Visualização e análise da compatibilidade em obra.....	165
Figura 4.30	Visualização e análise da compatibilidade entre disciplinas de projeto.....	165
Figura 4.31	Aplicação com interface de Realidade Virtual para simular situações de risco de segurança em obra.....	166
Figura 4.32	Integração de nuvens de pontos capturadas por laser scanner numa interface imersiva.....	167
Figura 4.33	Malha espacial capturada com recurso ao HoloLens 2.....	167
Figura 4.34	Seleção de um elemento para enriquecimento semântico.....	168
Figura 4.35	Visualização e edição das propriedades de objetos através de uma interface imersiva.....	168
Figura 4.36	Fotogrametria Digital – Castelo de Guimarães.....	171
Figura 4.37	Varrimento laser do Estádio do Famalicão.....	172
Figura 4.38	Fotogrametria digital (Igreja de Borba de Godim).....	176
Figura 4.39	Fotogrametria digital (Mosteiro de Bustelo).....	176
Figura 4.40	Dimensões BIM.....	180
Figura 4.41	Interface do Autodesk Navisworks.....	182
Figura 4.42	Interface do QiVisus BIM 5D.....	183
Figura 5.1	Pessoal ao serviço das empresas de construção.....	193
Figura 5.2	Principais segmentos de atividades em termos de faturação.....	195
Figura 5.3	Gastos com pessoal por trabalhador no setor da construção e o valor médio nacional.....	197
Figura 5.4	Produtividade aparente do trabalhador no setor da construção e o valor médio nacional.....	200
Figura 6.1	Integração da segurança na fase de projeto e obra.....	221
Figura 6.2	Obrigações do dono de obra.....	222
Figura 6.3	Obrigações do coordenador de segurança em projeto.....	222

Figura 6.4	Obrigações do coordenador de segurança em obra.....	223
Figura 6.5	Obrigações do autor do projeto.....	223
Figura 6.6	Obrigações da entidade executante.....	224
Figura 6.7	Obrigações dos empregadores.....	224
Figura 6.8	Obrigações dos trabalhadores independentes.....	224
Figura 6.9	Obrigatoriedade da Comunicação Prévia.....	225
Figura 6.10	Nomeação do coordenador de segurança e saúde na fase de projeto.....	226
Figura 6.11	Nomeação do coordenador de segurança e saúde na fase de obra.....	226
Figura 6.12	Obrigatoriedade da elaboração do plano de segurança e saúde e das fichas de procedimentos.....	227
Figura 6.13	Obrigatoriedade da elaboração do plano de segurança e saúde.....	227
Figura 6.14	Obrigatoriedade da elaboração das fichas de procedimentos.....	228
Figura 6.15	Obrigatoriedade da elaboração da Compilação Técnica.....	228
Figura 6.16	Microscópio Eletrónico de Varrimento, UTAD, 2014.....	233
Figura 6.17	Funcionamento do Microscópio eletrónico de varrimento (SEM).....	233
Figura 6.18	Preparação de amostras para colocação no SEM, UTAD, 2014.....	234
Figura 6.19	Aparelho de Microscopia Eletrónica de Transmissão.....	235
Figura 6.20	Imagem da microscopia de varrimento de uma amostra num edifício.....	236
Figura 6.21	Espectros EDS, referentes à segunda amostragem.....	236
Figura 6.22	Fibra de Actinolite com ampliação de 500X.....	237
Figura 6.23	Aspeto geral da desconstrução do edifício do Coutinho em Viana do Castelo...	240
Figura 6.24	Desconstrução da estrutura de betão armado do prédio Coutinho com uma máquina de longo alcance.....	241
Figura 6.25	Aplicação do amianto na construção.....	242
Figura 6.26	Imagem de várias plataformas elevatórias.....	245
Figura 6.27	Exemplos de plataformas para trabalhos em altura em estruturas metálicas....	245

Figura 6.28	Uso de plataformas elevatórias em obras de reabilitação do hotel da Disney Land Paris.....	246
Figura 6.29	Pormenor do uso de plataformas elevatórias em obras de reabilitação do hotel da Disney Land Paris.....	246
Figura 6.30	Plataformas de trabalho elevatórias utilizadas na substituição de lâmpadas....	247
Figura 6.31	Plataforma de trabalho móvel.....	248
Figura 6.32	Exemplo de uma plataforma de trabalho rebatível.....	248
Figura 6.33	Exemplo de uma plataforma de trabalho perimetral.....	249
Figura 6.34	Projeto e utilização de andaimes homologados.....	250
Figura 6.35	Utilização de andaimes homologados.....	251
Figura 6.36	Entivação da valas.....	252
Figura 6.37	Cofragem autotrepante.....	252
Figura 6.38	Cofragem trepante.....	252
Figura 6.39	Cofragem modular.....	253
Figura 6.40	Fluxograma de avaliação de risco da obra.....	261
Figura 6.41	Matriz do modelo matemático desenvolvido por Cristina Reis referente à probabilidade de ocorrência de acidentes.....	262
Figura 6.42	Precauções para evitar os acidentes sempre que esteja em causa o dia da semana e determinadas horas.....	263
Figura 6.43	Recomendações para evitar os acidentes sempre que esteja em causa o dia da semana e determinadas horas.....	263
Figura 6.44	Robôs de andaimes.....	266
Figura 6.45	Fato-macaco descartável.....	267
Figura 6.46	Luvas descartáveis.....	267
Figura 6.47	Máscara com filtro.....	268
Figura 6.48	Botas laváveis.....	268
Figura 6.49	Óculos de proteção descartáveis.....	268

Figura 6.50	Medidor de gases nos trabalhadores e nos locais confinados.....	270
Figura 6.51	Utilização de drones para fazer a manutenção de torres eólicas.....	270
Figura 6.52	Utilização de drones para inspeção de barragens.....	271
Figura 6.53	Exemplo de drone na inspeção de barragem.....	272
Figura 6.54	Limpeza das fachadas de edifícios com recurso a equipamento de alpinismo...	273
Figura 6.55	Imagem do Sonar 3D à volta de um pilar de uma ponte.....	274
Figura 6.56	Inspeção das passagens hidráulicas com recurso a robôs.....	274
Figura 6.57	Utilização de robôs para inspeção de passagens hidráulicas.....	275
Figura 6.58	Equipamento hidrodinâmico de alta pressão.....	276
Figura 6.59	Mangueira e ponteira de alta pressão.....	276
Figura 6.60	Equipamento de limpeza/desobstrução Iveco.....	277
Figura 6.61	Carro trator.....	278
Figura 6.62	Inspeção dos viadutos com recurso a plataformas suspensas.....	279
Figura 6.63	Inspeção dos viadutos com recurso a drones.....	279
Figura 6.64	Aplicação do BIM.....	280
Figura 6.65	Nível de risco de uma determinada tarefa.....	282
Figura 6.66	Nível de risco da obra.....	283

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1	Valores das Componentes da Dimensão Resiliência (PRR).....	31
Tabela 1.2	Valores das Componentes da Dimensão Transição Climática (PRR).....	32
Tabela 1.3	Valores das Componentes da Dimensão Transição Digital (PRR).....	32
Tabela 1.4	Investimento público direcionado para o setor habitacional entre 2021 e 2026....	33
Tabela 2.1	Comparação de características das coberturas extensivas, semi-intensivas e intensivas com base na classificação IGRA.....	44
Tabela 2.2	Terminologias usadas nas paredes verdes.....	45
Tabela 2.3	Quantidades dos diversos RCD valorizáveis (ton) encaminhadas por destino (2018).....	54
Tabela 2.4	Comparação entre as soluções previstas para o projeto standard e o projeto NZEB.....	72
Tabela 2.5	Comparação entre as soluções previstas para o projeto standard e o projeto NZEB.....	73
Tabela 2.6	Comparação de diferentes opções de aquecimento de uma habitação média.....	82
Tabela 2.7	Valor dos fatores solares de vãos envidraçados.....	84
Tabela 3.1	Avaliação qualitativa da forma como se comportam os Materiais Tradicionais....	128
Tabela 3.2	Avaliação qualitativa da forma como se comportam os Materiais Não Tradicionais.....	129
Tabela 4.1	Vantagens potenciais e desafios para a impressão 3D na Construção.....	140
Tabela 4.2	Software para Modelação BIM.....	186
Tabela 4.3	Software para Gestão da Construção BIM (4D e 5D).....	186
Tabela 4.4	Software para Visualização BIM e gestão documental integrada.....	186
Tabela 5.1	Percentagem de Industriais da Construção que identifica a falta de mão-de-obra especializada como o principal constrangimento à sua atividade (2021 e 1.º trimestre de 2022).....	194
Tabela 5.2	Alunos colocados através do CNAES em Engenharia Civil em Instituições Públicas de Ensino Superior na 1ª, 2ª e 3ª fases.....	196

Tabela 5.3	Taxas de salário mensal segundo o grupo profissional (Outubro de 2015 a outubro de 2021).....	198
Tabela 5.4	Taxas de salário mensal segundo o grupo profissional (Julho 2021).....	199
Tabela 5.5	Oferta formativa na área de reabilitação urbana e manutenção de edifícios.....	202
Tabela 5.6	Profissões, processos e tecnologias emergentes na Reabilitação 4.0.....	211
Tabela 6.1	Elementos que constituem a amostra.....	237
Tabela 6.2	Listagem não exaustiva de materiais com riscos especiais.....	244
Tabela 6.3	Listagem não exaustiva de trabalhos com riscos especiais.....	254
Tabela 6.4	Grau de Probabilidade.....	258
Tabela 6.5	Grau de Gravidade.....	258
Tabela 6.6	Forma simplificada de estimar o risco.....	259
Tabela 6.7	Níveis de risco – Acidente.....	259
Tabela 6.8	Níveis de risco – Gravidade.....	260

## **CAPÍTULO 1 – A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0 E O SEU IMPACTO NAS ATIVIDADES DA CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO**

### **1.1 As revoluções industriais**

Ao longo do tempo a indústria mundial tem sofrido uma evolução contínua e acelerada, marcada por períodos de mudanças muito significativas que são habitualmente designados por revoluções industriais. As revoluções industriais provocam profundas repercussões ao nível económico, social e ambiental, transformando as nossas rotinas diárias e o modo como vivemos em sociedade.

Em termos históricos considera-se a existência de três revoluções industriais, assistindo-se, desde meados da década passada, ao debate em torno da emergência da denominada Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (ver Figura 1.1).

Neste âmbito, importa compreender as principais características e traços diferenciadores das três anteriores revoluções industriais, antes de se aprofundarem as questões associadas com a Quarta Revolução, a qual está a dar os primeiros passos e cujo impacto será certamente muito relevante em termos civilizacionais.

A **1ª Revolução Industrial - Revolução Mecânica** - principiou no fim do século XVIII, com o desenvolvimento das máquinas a vapor que possibilitaram acelerar a produção de forma mecânica. Com o aparecimento dos motores a vapor surgiram as primeiras fábricas, permitindo a mecanização das tarefas que se tornaram repetitivas e progressivamente mais céleres. Isto ajudou ao aumento da produtividade e à redução dos custos de produção, o que levou igualmente ao aumento dos padrões de vida e ao crescimento de cidades localizadas perto das fábricas. As máquinas a vapor também contribuíram para que a informação e as pessoas pudessem circular mais rapidamente, designadamente devido ao desenvolvimento da impressão e dos caminhos-de-ferro.

A **2ª Revolução Industrial - Revolução Elétrica** - iniciou no final do século XIX com o desenvolvimento das linhas de montagem e a utilização da eletricidade. As fábricas passaram a operar através de eletricidade gerada por fontes de energia como o petróleo e o gás, o que facilitou grandes ganhos de eficiência que se traduziram na produção de bens de forma rápida

e em massa. Com a generalização da eletricidade, nomeadamente com a iluminação dos espaços públicos, a vivência noturna das cidades teve um grande incremento.

A **3ª Revolução Industrial - Automatização** - emergiu a partir dos anos 70 do século passado, com o surgimento e a evolução de sistemas informatizados e da automatização dos processos, das máquinas e dos serviços. A utilização das tecnologias da informação e comunicação (computadores, aplicações eletrónicas, internet, etc.) foi progressivamente generalizada na indústria, o que aumentou a produtividade e criou novas oportunidades de desenvolvimento na economia, sobretudo ao nível da construção nas grandes cidades.

Os avanços tecnológicos resultantes da 3ª Revolução Industrial, nomeadamente com a propagação do ciberespaço como um meio de comunicação amplamente circunscrito à informática e à utilização da Internet, materializando a "era da informação" ou "era digital", possibilitou a chegada da referida 4ª Revolução Industrial, unindo os mundos físico, digital e biológico, por meio de múltiplas tecnologias que trabalham em conjunto.

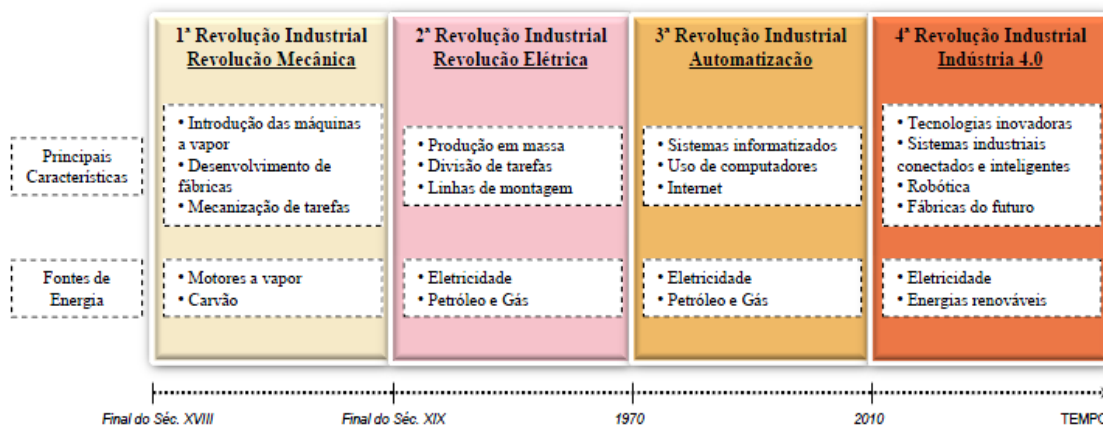


Figura 1.1 - Características das Revoluções Industriais

Fonte: Adaptado de UNIDO (2017)

A **4ª Revolução Industrial - Indústria 4.0** - nasce em meados da segunda década do século XXI como um novo paradigma marcado pela informação digital, a qual se torna parte preponderante dos processos industriais e das decisões que são tomadas de forma automática a partir do uso de um grande conjunto de dados armazenados, no chamado de Big Data. Baseia-se assim na integração de diversas tecnologias inovadoras (Big Data Analytics, computação em nuvem,

robôs automatizados, simulações, manufatura aditiva avançada, realidade aumentada ou a internet das coisas) que transitam para sistemas industriais inteligentes, onde o mundo físico da indústria convencional é integrado com o mundo virtual da tecnologia digital e da internet, no que também se designa por “smart factory”, “intelligent factory” ou “factory of the future”.

Como referem Cavalcanti, V. et al. (2018), estas tecnologias inovadoras do mundo híbrido (físico e imaterial) conduzem a expressivos benefícios nos processos industriais ao possibilitarem a interoperabilidade (entre o homem e a máquina), a virtualização (monitorização dos processos), a descentralização da tomada de decisão (por via humana ou digital), a atuação em tempo real, a orientação para o serviço ou a modulação na produção.

Estes benefícios correspondem a ganhos de eficiência e de tempo, e à poupança de recursos e de custos, ou seja traduzem-se em ganhos de produtividade para as empresas e para a economia em geral.

Desta forma, a Indústria 4.0 constitui uma enorme evolução dos sistemas produtivos tradicionais da indústria, permitindo que as fábricas do futuro sejam muito mais inteligentes, flexíveis, dinâmicas e operacionais do que as atuais, o que acarreta melhorias consideráveis nas distintas etapas das cadeias de valor. Como foi referido, um objetivo fundamental da Indústria 4.0 é uma produção totalmente conectada entre o mundo material e o mundo digital, o que, entre outras vantagens, permite conseguir que a Indústria 4.0 ofereça em grande quantidade produtos personalizados e individualizados, mas elaborados da mesma forma como se se tratasse de uma produção em série.

Assim, tal como aconteceu nas três primeiras revoluções industriais, a 4ª Revolução Industrial estendeu-se rapidamente a diferentes latitudes e a todos setores de atividade, induzindo repercussões muito significativas e de limites ainda não circunscritos.

No entanto, deve sublinhar-se que existem notórias diferenças entre a 4ª Revolução Industrial e as revoluções industriais anteriores. Em particular, realce-se o facto de os ganhos de produtividade decorrentes das três primeiras revoluções industriais terem sido conseguidos essencialmente através da utilização exaustiva de recursos naturais. Em contrapartida, na 4ª Revolução Industrial existe uma grande preocupação com o ambiente, pelo que os ganhos de produtividade resultam do emprego de novas tecnologias emergentes que visam acelerar a transição para uma economia verde, circular e descarbonizada.

Deste modo, a Indústria 4.0 poderá provocar grandes mudanças na sociedade, provavelmente superiores às produzidas nas revoluções industriais anteriores, levando a transformações e inovações disruptivas muito importantes para o nosso futuro coletivo. Como refere Klaus Schwab, presidente executivo do Fórum Económico Mundial (Schwab, K. 2016), a atual revolução tecnológica está a transformar o modo como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos.

No caso do setor da construção, a integração de diversas tecnologias inovadoras na forma de projetar, construir e gerir as obras fez emergir a Construção e a Reabilitação 4.0.

## **1.2 A Construção e a Reabilitação 4.0**

Neste contexto, a Construção e a Reabilitação 4.0 surgem como a ramificação da Indústria 4.0 ao setor da construção e da reabilitação. Assim, ao longo da cadeia produtiva da construção e em todo o tipo de empresas, vai-se assistindo à introdução de diferentes tecnologias inovadoras, afirmando a Construção e a Reabilitação 4.0 como o caminho natural para aumentar a competitividade e a produtividade do setor, reduzindo a sua ineficiência e os seus custos.

Com efeito, no início do século XXI em resultado do desenvolvimento da Indústria 4.0 estão a surgir grandes oportunidades e enormes desafios para os setores da construção e reabilitação urbana, que são setores tradicionalmente com níveis de investimento em Investigação e Desenvolvimento (I&D) e inovação relativamente baixos face a outros setores da atividade industrial. É relevante assinalar que numa altura em que se consolida a Indústria 4.0, existe quem aponte que a indústria da construção e reabilitação não chegou ainda a experienciar no seu âmago a 3ª Revolução Industrial. No entanto, e face aos desafios atuais, começa a ser consensual que o salto tem de ser dado para a introdução paulatina da 4ª Revolução Industrial nestes setores. Efetivamente, o contexto global fortemente marcado pela 4ª Revolução Industrial, pelo aumento da competitividade empresarial, pelo crescente reconhecimento das alterações climáticas no planeta e pela necessidade da adoção de políticas de desenvolvimento sustentável, tem provocado intensas pressões no sentido da transformação dos sectores da construção e reabilitação urbana. O recurso à tecnologia e à inovação, a capacitação dos recursos humanos, a procura de soluções inteligentes e sustentáveis constituem hoje realidades indispensáveis para as empresas, as quais valorizam cada vez mais a economia circular nas suas estratégias de atuação.

Assim sendo, e de forma resumida, salientam-se alguns dos principais fatores que na atualidade influenciam a evolução do setor em direção à Construção e Reabilitação 4.0:

- As novas realidades associadas à 4ª revolução industrial, marcadas pela preponderância das “máquinas inteligentes” onde as várias tecnologias são utilizadas cada vez mais em conjunto, possibilitando unir o mundo físico, o mundo digital e o mundo biológico, sendo a informação o bem mais valioso;
- As alterações climáticas verificadas no planeta e a necessidade do crescimento da economia verde;
- A importância da reabilitação para a requalificação e valorização urbanística das cidades;
- O aumento da concorrência e competitividade empresarial a todos os níveis;
- A imprescindibilidade do recurso à tecnologia e à inovação;
- A relevância da capacitação dos recursos humanos, designadamente para responder à evolução tecnológica;
- A crescente procura de soluções inteligentes e sustentáveis;
- A valorização da Economia Circular e da Construção Circular;
- A forma como estão definidas as prioridades dos fundos comunitários, alicerçadas em documentos como a Estratégia Europa 2020, o Roteiro para a Energia 2050, ou a Estratégia Portugal 2030;
- A adoção de sistemas de certificação da qualidade de empresas de Construção e Reabilitação 4.0.

Em termos concretos, e como se observa da Figura 1.2, a Construção 4.0 assenta fundamentalmente no desenvolvimento de 10 vertentes de cariz tecnológico na construção:

- 1- Pré-fabricação e construção modular;
- 2- Materiais de construção avançados;
- 3- Impressão 3D e manufatura aditiva;
- 4- Construção autónoma;
- 5- Realidade aumentada e virtualização;
- 6- Big data e análise preditiva;
- 7- Monitorização wireless e equipamento conectado;
- 8- Cloud e colaboração em tempo real;
- 9- Fotogrametria e scanarização 3D;
- 10- Building Information Modeling (BIM).



Figura 1.2 - Vertentes de cariz tecnológico da Construção e da Reabilitação 4.0

Fonte: World Economic Forum, Boston Consulting Group

O desenvolvimento destas 10 vertentes de cariz tecnológico da Construção e da Reabilitação 4.0, assim como de outras, tem vindo a realizar-se de forma gradual, de acordo com o estado evolutivo das tecnologias em cada País e com a disponibilidade para a sua incorporação das empresas construtoras.

No caso português, existem já muitas empresas nas quais a Construção e a Reabilitação 4.0 é uma realidade visível nas suas atividades. Com efeito, a cada dia que passa é maior o uso de ferramentas tecnológicas em tarefas como os cálculos estruturais, a georreferenciação, a gestão integrada de projetos, a instalação de estaleiros de obras, ou a pré-fabricação de módulos para edifícios.

Existem também algumas empresas, embora em menor número, que apostam em iniciativas mais arrojadas, como sejam o recurso a drones para o acompanhamento das obras, a impressão em 3D de componentes construtivas ou a utilização de equipamentos robotizados para a execução de tarefas, sobretudo em estaleiro. Contudo, são ainda iniciativas algo tímidas, que necessitam de tempo e carecem de maior incentivo e apoio na sua divulgação e aplicação no sector da construção em Portugal, em particular entre as empresas de reduzida dimensão e menor capacidade financeira.

No nosso País, muitas empresas de construção possuem ainda uma mentalidade e um comportamento conservador, observável na considerável inércia organizacional e operacional que as caracteriza. Para impedir esta situação, as empresas precisam de promover uma cultura de mudança e de valorização do conhecimento, respaldada pelas suas chefias, implementando processos contínuos e iterativos de modernização tecnológica e melhoria das cadeias produtivas. Entre outras, isto envolve as seguintes medidas:

- Estabelecimento de uma cultura de empresa orientada para a Construção e a Reabilitação 4.0, nomeadamente ao nível da missão, dos valores, dos objetivos e das práticas;
- Incremento dos apoios do Estado e dos organismos públicos, promovendo uma mudança efetiva para a Construção e a Reabilitação 4.0, sobretudo nas pequenas e médias empresas do setor;
- Implementação de uma tomada de decisão operacional e descentralizada, tão perto quanto possível dos clientes;
- Reconhecimento e valorização do mérito dos colaboradores que apostem na criatividade e na inovação no desempenho das suas funções;
- Aumento do diálogo, interação e colaboração entre todos os intervenientes no processo construtivo;
- Promoção da transferência de conhecimento de projeto para projeto, de modo a não se perder o saber e a experiência anteriormente adquiridas;
- Motivação dos colaboradores para os desafios do futuro, aumentando a sua autoestima e identificação com os objetivos da empresa;
- Instituição de uma política de contratação de colaboradores que aposte nos jovens talentos e que valorize os conhecimentos tecnológicos e a capacidade de inovação;
- Aumento do investimento em investigação, desenvolvimento e inovação, o que implica a aquisição de tecnologia e de recursos humanos especializados;
- Criação de parcerias com outras empresas, universidades e centros de investigação, desenvolvendo trabalho de colaboração em rede, designadamente direcionado para inovação e a modernização.

Atendendo às dificuldades com que se debatem as empresas de construção em Portugal, a implementação destas medidas que visam o crescimento e consolidação da Construção 4.0 deve

ser progressiva e iniciar-se pelas tecnologias já disponíveis e acerca das quais existe algum conhecimento e experiência no mercado. Muitas das tecnologias têm atualmente custos acessíveis e estão facilmente disponíveis, pelo que a sua implementação nas empresas é mais simples e factível. Assim, após estas estarem estáveis e permitirem bons resultados é possível dar novo passo no sentido da implantação de outras tecnologias mais avançadas. Agindo desta forma, as empresas estarão mais preparadas e serão mais competitivas e sustentáveis para enfrentar os desafios do futuro.

### **1.3 Enfrentar os desafios, preparar o amanhã da construção e da reabilitação**

A fileira da construção e reabilitação está num processo complexo de transformação e evolução para a Construção e Reabilitação 4.0. Diferentes inovações estão a ser aplicadas em todas as fases dos empreendimentos construtivos, desde o momento da conceção até ao fim da vida útil, com o objetivo de melhorar a qualidade e de reduzir os custos e riscos das obras.

O potencial de crescimento das 10 vertentes anteriormente elencadas no setor da construção e da reabilitação é enorme, no entanto é preciso criar estruturas para consolidar o seu desenvolvimento. De facto, não basta que as empresas de construção incorporem as tecnologias da 4ª Revolução Industrial, presentemente em curso. É igualmente necessário que ao nível dos recursos humanos, e nas mais variadas funções, se mudem os comportamentos e as atitudes e se aumentem os conhecimentos e as competências de todos aqueles que, de forma direta ou indireta, intervêm no setor da construção e da reabilitação.

Com efeito, é reconhecido que o défice de uma cultura digital e de competências específicas neste campo constitui o maior desafio que as empresas de engenharia e construção de todo o mundo têm de enfrentar na implantação dos conceitos da Indústria 4.0.

Muitos profissionais do setor da construção não possuem ainda as informações adequadas sobre os reais benefícios da Construção 4.0 e têm receio de investir no desenvolvimento tecnológico das suas empresas. Essas dificuldades acabam por condicionar o potencial de crescimento da Construção 4.0, limitando o aumento da produtividade no setor e a melhoria da qualidade construtiva.

Neste sentido, torna-se imperioso o incentivo e apoio das entidades governamentais à inovação nas empresas (ao nível dos recursos humanos, da gestão, dos processos ou da tecnologia),

nomeadamente através das oportunidades que possibilitam o Plano de Recuperação e Resiliência ou o próximo Quadro Comunitário de Apoio – Portugal 2020-2030.

Importa sublinhar que até ao final desta década, Portugal irá receber um montante de cerca de 61 mil milhões de € de apoio financeiro vindo da Europa, já denominado de “bazuca financeira”.

Trata-se de uma quantia extraordinária que resulta do somatório de 16,6 mil milhões de € provenientes do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), de 29,8 mil milhões de € dos fundos comunitários do próximo quadro plurianual da União Europeia 2030, de 12,8 mil milhões de € do atual quadro comunitário Portugal 2020 que podem ser utilizadas até 2023 e, ainda, de 1,8 mil milhões de € do reforço da coesão através do REACT/EU (Assistência de Recuperação para a Coesão e os Territórios da Europa).

Estes valores poderão ainda ser ampliados, dada a possibilidade de Portugal poder recorrer a empréstimos da União Europeia de cerca de 15,7 mil milhões de € em condições muito vantajosas em termos de exigências e de juros.

Em termos do PRR, por exemplo, o seu valor é repartido por três dimensões (Resiliência - 11,125 mil milhões de €, Transição Climática – 3,059 mil milhões de € e Transição Digital – 2,460 mil milhões de €, como resultado de uma crescente preocupação europeia com a sustentabilidade, a eficiência energética e inovação tecnológica, sendo a sua distribuição realizada através de 20 componentes da seguinte forma.

Tabela 1.1 – Valores das Componentes da Dimensão Resiliência (PRR)

<b>DIMENSÃO RESILIÊNCIA</b>	<b>Valor (M€)</b>
C1 - Serviço Nacional de Saúde	1 383
C2 - Habitação	2 733
C3 - Respostas Sociais	833
C4 - Cultura	243
C5 - Capitalização e Inovação Empresarial	2 914
C6 - Qualificações e Competências	1 324
C7 - Infraestruturas	690
C8 - Florestas	615
C9 - Gestão Hídrica	390
TOTAL	11 125

Fonte: <https://recuperarportugal.gov.pt/>

Tabela 1.2 – Valores das Componentes da Dimensão Transição Climática (PRR)

DIMENSÃO TRANSIÇÃO CLIMÁTICA	Valor (M€)
C10 - Mar	252
C11 - Descarbonização da Indústria	715
C12 - Bioeconomia Sustentável	145
C13 - Eficiência Energética dos Edifícios	610
C14 - Hidrogénio e Renováveis	370
C15 - Mobilidade Sustentável	967
TOTAL	3 059

Fonte: <https://recuperarportugal.gov.pt/>

Tabela 1.3 – Valores das Componentes da Dimensão Transição Digital (PRR)

DIMENSÃO TRANSIÇÃO DIGITAL	Valor (M€)
C16 - Empresas 4.0	650
C17 - Qualidade nas Finanças Públicas	406
C18 - Justiça Económica e Ambiente de Negócios	267
C19 - Administração Pública mais Eficiente	578
C20 - Escola Digital	559
TOTAL	2 460

Fonte: <https://recuperarportugal.gov.pt/>

Embora a maioria destas componentes implique investimentos na realização de obras, impõe-se, no entanto, **destacar as componentes C6 - Qualificações e Competências (1 324 milhões de €) e C16 - Empresas 4.0 (650 milhões de €) do PRR, as quais devem ser aproveitadas pelas empresas de Construção e de Reabilitação 4.0 para se qualificarem e modernizarem em termos dos seus recursos humanos e tecnológicos.**

No caso concreto do setor habitacional, como se observa na Tabela 1.4, para as intervenções apoiadas por investimento público estão assegurados 2 215 milhões de €, entre 2021 e 2026. Estes valores serão ainda reforçados por novos programas de apoio financeiros que estão a ser preparados em Bruxelas, sobretudo para a área da energia, aos quais se deve somar o investimento privado a realizar no setor.

Tabela 1.4 – Investimento público direcionado para o setor habitacional entre 2021 e 2026

<b>Apoio financeiro já assegurado para o setor habitacional (2021-2026)</b>	
Programa 1.º Direito - Programa de Apoio ao Acesso à Habitação	1 222 M€
Parque Público de Habitação a Custos Acessíveis	774 M€
Bolsa Nacional de Alojamento Urgente e Temporário	176 M€
Reabilitação do parque habitacional do IHRU	43 M€
<b>Total</b>	<b>2 215 M€</b>

Fonte: <https://www.portaldahabitacao.pt/web/guest/prr>

São, portanto, colocados à disposição do País recursos financeiros ímpares para resolver os problemas estruturais seculares que assolam o território nacional, sendo que uma grande parte deles serão canalizados direta ou indiretamente para o setor da Construção e Reabilitação.

É pois de esperar o lançamento de um grande volume de obras nos próximos anos, devendo para o efeito serem criadas as condições no que se refere aos recursos humanos, materiais e tecnológicos que permitam a sua execução. Neste sentido, **o Governo deve ter em consideração as dificuldades com que se debatem atualmente as empresas de construção e reabilitação nacionais (nomeadamente de escassez de mão-de-obra em quantidade e qualidade e de falta e custo dos materiais)**, auxiliando-as e proporcionando-lhes os meios para poderem responder aos desafios que se avizinham. De outra forma, **as metas do PRR, do Portugal 2030 ou dos programas habitacionais estarão em causa, bem como os objetivos de convergência real de Portugal com os países da União Europeia.**

É também tendo em atenção esta enorme disponibilidade de recursos financeiros para o desenvolvimento de Portugal e os desafios que neste âmbito se colocam à Construção 4.0 e, em particular, à Reabilitação 4.0, que este projeto de investigação foi elaborado.

Por um lado, pretende-se sensibilizar os promotores e as empresas de construção para a imprescindibilidade de se incrementar a aposta na Construção e na Reabilitação 4.0 em Portugal, como um fator decisivo para aumentar os níveis de competitividade e de produtividade do País, e de criar condições para enfrentar os desafios tecnológicos que o futuro coloca.

Por outro lado, este projeto pretende constituir um instrumento útil e atual para todos os intervenientes no setor da construção, auxiliando-os a aumentar o seu grau de conhecimento e

de competências associados com as diferentes vertentes da construção 4.0. Atendendo à progressiva relevância da reabilitação urbana, e ao grande papel desempenhado pela AICCOPN em prol do aumento da reabilitação em Portugal, ao longo do projeto será dado particular destaque às especificidades relacionadas com a Reabilitação 4.0.

Tendo em consideração este contexto, com o desenvolvimento do Projeto de Investigação e Capacitação das Empresas no Mercado de Reabilitação “*Manual de Inovação e Sustentabilidade - Os Desafios e as Soluções na Reabilitação Urbana 4.0 - Materiais, Tecnologias, Recursos Humanos e Segurança*” pretende-se **contribuir para a reorientação e melhoria das estratégias das empresas da construção e da reabilitação, respondendo às crescentes exigências e expectativas do mercado, através da implementação de novas soluções no âmbito da Reabilitação Urbana Inteligente e Sustentável.**

Assim sendo, o Projeto visa apoiar e capacitar os diferentes intervenientes no setor, possibilitando-lhes ferramentas e competências ao nível dos Materiais, das Tecnologias, dos Recursos Humanos e da Segurança e Saúde, de molde a poderem enfrentar mais eficientemente as oportunidades e os desafios, encontrando as melhores soluções na Reabilitação Urbana 4.0. Visa, igualmente, promover a divulgação de conhecimento sobre a Reabilitação Urbana 4.0, bem como aumentar as interações entre empresas, potenciando a criação de redes e de “clubes” vocacionados para a Reabilitação Urbana Inteligente e Sustentável, essenciais para a necessária resiliência do conjunto das empresas de âmbito Nacional em relação à esperada forte concorrência que será desenvolvida pelas grandes corporações, muitas delas multinacionais, que paulatinamente vão desenvolvendo as ferramentas necessárias à implementação no terreno da Reabilitação Urbana 4.0. Deste modo a incorporação destes novos desafios da Reabilitação 4.0 será fundamental para a futura sobrevivência e até crescimento de muitas empresas Portuguesas do setor.

Ou seja, o Projeto de Investigação e Capacitação das Empresas no Mercado de Reabilitação “*Manual de Inovação e Sustentabilidade - Os Desafios e as Soluções na Reabilitação Urbana 4.0 - Materiais, Tecnologias, Recursos Humanos e Segurança*” procura **ajudar as empresas de construção a responderem de forma mais competitiva e apropriada aos múltiplos desafios que o mercado de reabilitação urbana pressupõe**, tendo em conta os fatores políticos, económicos, sociais, ambientais e tecnológicos que marcam a atualidade.

Visando estes objetivos, este estudo está estruturado em 7 capítulos:

No primeiro capítulo, é apresentada uma breve descrição histórica do impacto civilizacional das revoluções industriais, perspetivando essencialmente as transformações provocadas pela 4ª Revolução Industrial e pelo desenvolvimento da Construção e da Reabilitação 4.0, num momento em que Portugal irá receber um apoio financeiro muito considerável proveniente da União Europeia e em que, como consequência, será confrontado com um previsível aumento do volume de obras.

De seguida, o segundo capítulo foca as questões do conforto e da sustentabilidade na Reabilitação 4.0, salientando a relevância da Economia Circular, da Eficiência Energética e do Conforto Interior dos Edifícios enquanto vetores essenciais na execução de obras.

O terceiro capítulo trata dos Materiais de Construção Avançados, caracterizando os materiais tradicionais e não tradicionais aplicados na reabilitação, identificando novos materiais (materiais sustentáveis, ecomateriais, nanomateriais, ...) e destacando os problemas que a sua utilização coloca, bem como soluções e propostas de melhoria possíveis para os materiais empregues nos processos de reabilitação.

As diversas vertentes tecnológicas da Reabilitação Urbana 4.0 são abordadas no quarto capítulo. Assim, são caracterizados os principais processos relacionados com a pré-fabricação e a construção modular, a impressão 3D e a manufatura aditiva, a construção autónoma, a Monitorização Wireless e o Equipamento Conectado, o Big data e Análise Preditiva, a Realidade Aumentada e a Virtualização, a Fotogrametria e o Varrimento Laser, e o Building Information Model (BIM).

Tratando-se de matérias extensas e complexas, no capítulo é realizada uma abordagem necessariamente breve e simples, recorrendo-se a exemplos didáticos de fácil compreensão. Pretende-se sobretudo que o leitor fique a conhecer as numerosas aplicações e os grandes benefícios da utilização destas ferramentas tecnológicas no setor da construção.

A temática dos recursos humanos enquanto fator decisivo para a Reabilitação Urbana 4.0 é desenvolvida no quinto capítulo. Neste sentido realiza-se um diagnóstico da situação presente, analisam-se os principais problemas relacionados com a carência e falta de preparação dos recursos humanos e identificam-se possíveis soluções. É assim salientada a importância de atrair e reter profissionais no setor, de disponibilizar cursos de formação específicos e de certificar as qualificações, dada a necessidade de adaptar os recursos humanos à Reabilitação 4.0. Está pois em causa a forma de recrutamento, a carreira profissional e a valorização profissional dos recursos humanos, ou seja debate-se o “Status social” dos trabalhadores da construção. De

referir ainda que neste capítulo merecem particular atenção dois assuntos de elevada sensibilidade, pertinência e relevância da atualidade como são a emigração/imigração de trabalhadores e a inclusão profissional das mulheres e dos jovens no setor.

O sexto capítulo centra-se nas questões da Segurança e Saúde na Reabilitação Urbana 4.0. Os novos materiais, as novas tecnologias e os novos processos construtivos utilizados com a Reabilitação Urbana 4.0, envolvem riscos não convencionais e implicam abordagens diferentes das tradicionais. Neste contexto, são avaliados os trabalhos associados com riscos especiais na Reabilitação 4.0, analisados os acidentes e doenças profissionais que podem provocar e indicados os princípios gerais de prevenção ao nível dos equipamentos de proteção individual (EPI) e dos equipamentos de proteção coletiva (EPC), bem como as medidas preventivas de segurança e saúde na Reabilitação 4.0.

Numa faceta diferente, mas igualmente essencial, o sexto capítulo incide sobre o uso das novas tecnologias 4.0 aplicadas à segurança e saúde, referindo em particular as aplicações e vantagens dos Veículos aéreos não tripulados, da realidade virtual através da modelagem da informação da construção (BIM), dos sensores vestíveis, do controlo informático e da monitorização eletrónica das obras e da Internet das Coisas, como uma nova realidade que se irá intensificar nos próximos anos.

Por último, o sétimo capítulo expõe as conclusões gerais do projeto de investigação, tendo em particular consideração os vetores conforto e sustentabilidade, materiais, tecnologias, recursos humanos, segurança e saúde. As ilações obtidas do trabalho realizado, e as reflexões posteriores de uma extensa equipa de 32 académicos oriundos de várias universidades possibilitou que se elencassem um conjunto de recomendações quer para as empresas da construção, quer para as entidades com responsabilidades pelo setor, as quais são certamente não só um contributo para a melhoria do setor da construção, mas igualmente uma mais-valia para o desenvolvimento e incremento da qualidade de vida do País.

O trabalho é ainda complementado com a inclusão de uma Separata, onde se sistematizam e agregam alguns dos principais conteúdos desenvolvidos ao longo do projeto de investigação, constituída por um conjunto de fichas técnicas com orientações úteis para as empresas de construção e reabilitação e por sumários executivos relativos aos respetivos capítulos.

## **CAPÍTULO 2 – CONFORTO E SUSTENTABILIDADE NA REABILITAÇÃO 4.0**

### **2.1 Sustentabilidade e Economia Circular**

#### **2.1.1 Sustentabilidade**

Já em 1987 se defendia que o uso sustentável dos recursos naturais devia "suprir as necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras" (Relatório de Brundtland, 1987). Também conhecido como "Nosso futuro comum", o relatório de Brundtland, apontava para uma definição antropocêntrica de sustentabilidade por meio da apresentação do termo "desenvolvimento sustentável".

Neste relatório também se apresentou pela primeira vez a dimensão social da sustentabilidade equiparada à dimensão ambiental. Uma das missões do desenvolvimento sustentável seria servir o combate à pobreza.

O conceito de sustentabilidade começou a ser delineado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (United Nations Conference on the Human Environment - UNCHE), realizada na Suécia, em 1972, também conhecida por Conferência de Estocolmo. Esta foi a primeira conferência da Organização das Nações Unidas sobre o meio ambiente e a primeira grande reunião internacional para discutir as atividades humanas e sua relação com o meio ambiente. Aqui, através da declaração de Estocolmo, foram lançadas as bases das ações ambientais a levar a cabo, chamando a atenção para o facto das questões relacionadas com a degradação ambiental e a poluição não se limitarem às fronteiras políticas, mas afetarem países, regiões e povos muito para além do seu ponto de origem.

Na Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992, no Rio de Janeiro, consolidou-se o conceito de desenvolvimento sustentável numa abordagem conjunta entre o meio ambiente e o desenvolvimento económico. Desta resultou um amplo e abrangente programa de ação visando a sustentabilidade global no século XXI, a designada Agenda 21.

Em 2002, na Cimeira da Terra sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada em Joanesburgo, propôs-se a integração da vertente social do desenvolvimento, como parte integrante da sustentabilidade, através de programas e políticas centradas nas questões sociais. Neste contexto, começaram a abordar-se os diversos tipos de sustentabilidade (Figura 2.1):

- Sustentabilidade Ambiental

- Sustentabilidade Social
- Sustentabilidade económica



Figura 2.1 - Triângulo da Sustentabilidade

Assim, para que alguma ação humana seja considerada sustentável, deve ser:

- Ambientalmente correta
- Economicamente viável
- Socialmente justa
- Culturalmente diversa

O ano de 2015 ficará na história como o ano da definição da Agenda 2030, constituída por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como ilustra a Figura 2.2.



Figura 2.2 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Fonte - <https://www.ods.pt/>

A Agenda 2030 é uma agenda alargada e ambiciosa que aborda várias dimensões do desenvolvimento sustentável (social, económico, ambiental) e que promove a paz, a justiça e o funcionamento eficaz das instituições.

A Agenda 2030 e os seus “17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são a nossa visão comum para a Humanidade e um contrato social entre os líderes mundiais e os povos”, disse o então secretário-geral da ONU, Ban Ki-moon. “São uma lista de coisas a fazer em nome dos povos e do planeta, e um plano para o sucesso”, acrescentou. (<https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>).

Para a concretização da Agenda 2030 sobre os ODS, é imperativo que as empresas integrem estas metas nas suas tomadas de decisão e que contribuam com o seu poder de inovação para um futuro mais sustentável e inclusivo. Cada vez mais as empresas preocupam-se com o meio ambiente, mas como parte de uma estratégia comercial e de marketing. Nas empresas, o conceito de sustentabilidade está ligado diretamente com a responsabilidade social tornando-se, inclusivamente, uma vantagem competitiva (<https://www.ods.pt/>).

A sustentabilidade no setor da construção prende-se sobretudo com a poupança na utilização de recursos naturais e energéticos, com a diminuição da produção de resíduos de construção e demolição e com o desenvolvimento de soluções construtivas que permitam a aplicação prática da economia circular, da desconstrução, bem como a construção de edifícios duráveis,

adaptáveis, com materiais de menor impacto ambiental e com grande potencialidade de reutilização, procurando-se, no entanto, que a qualidade, o conforto e a durabilidade não sejam comprometidos.

Avaliar a sustentabilidade de uma determinada solução construtiva é fundamental para a adoção da solução ambientalmente mais adequada e, uma das formas de o fazer pode passar pela Análise do Ciclo de Vida (ACV). Com efeito, a ACV é uma metodologia que permite avaliar e quantificar os impactes ambientais gerados ao longo do ciclo de vida das soluções implementadas incluindo os materiais utilizados e, desta forma, auxiliar na adoção de decisões ambientalmente favoráveis; quantificando as emissões para o ar, para a água e para o solo relativamente a cada estágio de ciclo de vida. Permite, ainda, efetuar análises comparativas de impactes entre dois ou mais produtos, processos, serviços ou soluções.

O sector da construção é um dos setores mais poluentes da União Europeia. Só a produção de cimento Portland é responsável por 5% das emissões globais de CO<sub>2</sub> e 3,8% do consumo de energia global. Os edifícios na sua fase de construção e funcionamento são responsáveis pelo consumo de cerca de 50 % de todos os recursos naturais extraídos, cerca de 25 % do consumo de água, cerca de 40 % do consumo total de energia e 35% de resíduos de construção e demolição, resultando, em média, na produção de cerca de um terço das emissões globais de gases de efeito estufa e num terço de todos os resíduos gerados (Rand, A., Bragança, L., 2019). Estes valores levam-nos a admitir que há muito a fazer para se atingir a sustentabilidade neste setor.

A reabilitação é um procedimento, por si só, muito sustentável quando comparado com a construção nova. Com efeito, relativamente a uma construção de raiz é necessário menor extração de matérias-primas, menor produção de materiais de construção e de elementos estruturais e menor necessidade de transporte de materiais. A perturbação causada na envolvente, bem como os riscos envolvidos para pessoas e bens também são mais reduzidos. Note-se que poderão ser feitas modificações em partes da estrutura ou removidos revestimentos ou outros componentes, mas sem que haja grandes obras de demolição.

O conceito “4.0” pode ser muito relevante na sustentabilidade da reabilitação do edificado e, atendendo aos objetivos europeus de concluir com êxito a transformação digital da Europa até 2030, essa transformação dar-se-á muito em breve. A utilização de tecnologias digitais na indústria da reabilitação que permitem a integração dos projetos das várias especialidades, a sensorização, monitorização e a recolha de uma quantidade grande de dados relativos a

parâmetros relevantes para o bom funcionamento das estruturas e dos edifícios permitirão automatizar tarefas, quer a nível da sua construção, quer a nível do seu funcionamento. Para além disso, os usos de comunicações sem fios permitem introduzir muita tecnologia e automação em edifícios a reabilitar de uma forma não intrusiva. Assim, o avanço da tecnologia associada à reabilitação 4.0 trará mais qualidade ao produto final, melhoria da produtividade, monitorização contínua do consumo de energia e de parâmetros relevantes para o funcionamento adequado do edificado, bem como ambientes de trabalho mais seguros e trabalho fisicamente menos intenso, ajudando as empresas a agirem de forma sustentável ambiental, social e economicamente.

Neste âmbito, apresentam-se seguidamente dois exemplos de tecnologias sustentáveis. O primeiro exemplo é relativo às coberturas e fachadas verdes, passíveis de serem utilizadas na reabilitação de coberturas e fachadas e o segundo exemplo é referente a práticas de sustentabilidade relativas à utilização da água.

### **Coberturas e fachadas verdes (AS)**

As fachadas e as coberturas verdes têm surgido como uma das áreas de intervenção relevante no domínio da construção sustentável, apresentando benefícios a nível ambiental, social e económico. São sistemas que integram a vegetação como revestimento na cobertura ou na fachada de edifícios, cultivada de forma propositada ou através da criação de habitats que permitam que esta se autoestabeleça.

Estas soluções, já utilizadas no passado, surgiram como uma forma económica de proteger as habitações das condições climáticas exteriores, principalmente em meio rural e, em meio urbano, com o intuito de aumentar a área de espaço verde ou apenas como opção estética.

Até meados do século XX, as coberturas verdes eram vistas como sendo apenas uma prática construtiva caracterizadora de determinadas regiões. No entanto, a crescente preocupação com a qualidade do ar e a rápida diminuição de espaços verdes em zonas urbanas, levaram a que as coberturas verdes começassem a ser consideradas como uma solução “verde”, passando a ser utilizadas no Norte da Europa.

Em 1975, na Alemanha, foi fundada a FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) com o objetivo de realizar trabalho de investigação neste domínio, emitindo,

em 1982, a primeira diretiva para o planeamento, instalação e manutenção de coberturas verdes, referindo os seus princípios urbanos, ecológicos e económicos (Raposo, F. 2013). Em Portugal, apesar de ainda não se verificar o seu uso generalizado, este tipo de soluções tem ganho adeptos entre os diversos intervenientes no setor da construção, existindo diversos exemplos da sua aplicação em edifícios residenciais e em edifícios de serviços (Figura 2.3 e Figura 2.4). Com o objetivo de promover as infraestruturas verdes nas cidades, nomeadamente as passíveis de implementação em edifícios novos e existentes, surgiu a Associação Nacional de Coberturas Verdes (ANCV), que publicou um guião técnico para projeto, construção e manutenção de coberturas verdes.



Figura 2.3 - Cobertura verde em parque de estacionamento (Parque Camões, Guimarães)



Figura 2.4 - Fachadas verdes em edifícios multifamiliares em Madrid (esquerda) e em Milão (direita)

A utilização de sistemas de coberturas verdes e fachadas verdes apresenta diversos benefícios ambientais, económicos e sociais, quer a grande escala, quer a uma escala mais reduzida quando se fazem sentir diretamente no edifício onde são instalados.

A sua instalação em edifícios novos e na reabilitação de edifícios existentes contribui para a melhoria do desempenho energético do edifício e do conforto interior, reduzindo a variação das flutuações de temperatura e da humidade relativa interiores. Apresenta ainda melhorias ao nível do conforto acústico. Como benefícios ambientais à escala urbana, destacam-se a mitigação do efeito de ilha de calor, a melhoria da qualidade do ar, a criação de ecossistemas e a preservação ecológica, a retenção de águas pluviais e a melhoria da qualidade do ar. Permitem ainda a melhoria do espaço urbano a nível estético, contribuindo para o aumento de espaços de lazer, potenciando o convívio e a interação social.

São soluções construtivas mais sustentáveis que contribuem para a redução do consumo de energia e do seu impacto nefasto no meio ambiente mas cuja integração na envolvente dos edifícios ainda é vista como uma limitação a nível económico dados os custos imediatos associados à sua aplicação, para além das exigências a nível de manutenção face às soluções construtivas convencionais.

A sua introdução na envolvente deverá ser considerada no dimensionamento estrutural do edifício, pelo que, em situações de reabilitação, é necessário verificar a capacidade resistente de suporte. O aumento da informação sobre este tipo de sistemas e a existência de incentivos por parte das entidades governamentais e locais, como aliás já se verifica noutros países, serão certamente um incentivo à sua implementação.

Segundo a International Green Roof Association (IGRA) as coberturas verdes são classificadas em três tipos: coberturas intensivas, coberturas semi-intensivas e coberturas extensivas, cujas principais características são apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Comparação de características das coberturas extensivas, semi-intensivas e intensivas com base na classificação IGRA



Cobertura Extensiva	Cobertura Semi-Intensiva	Cobertura Intensiva
<p><b>Altura do Substrato:</b> 6 a 20 cm  <b>Peso próprio:</b> 60 a 150 kg/m<sup>2</sup>  <b>Vegetação:</b> Musgos, ervas, <i>sedum</i>, gramíneas  <b>Custo:</b> Baixo  <b>Manutenção:</b> Baixa  <b>Irrigação:</b> Não  <b>Uso:</b> Ecológico (não acessível)</p> <p><b>Vantagens:</b> Ser adequada para grandes áreas e para coberturas com inclinação de 0 a 30 °; a vegetação utilizada pode crescer espontaneamente sem intervenção humana concedendo-lhe um carácter mais natural; é relativamente mais económica e tem peso reduzido quando comparado com o tipo de cobertura intensiva; pode dispensar o uso de sistema de irrigação e de sistema de drenagem; reduzida manutenção e elevado tempo de vida.</p> <p><b>Desvantagens:</b> O tipo de plantas a utilizar é limitado; geralmente não podem ser acessíveis para atividades recreativas; possuem menor capacidade de retenção de água no substrato e menor isolamento do que os outros tipos de coberturas, dado que as espessuras são mais baixas.</p>	<p><b>Altura do Substrato:</b> 12 a 25 cm  <b>Peso próprio:</b> 120 a 250 kg/m<sup>2</sup>  <b>Vegetação:</b> Arbustos, relva, herbáceas  <b>Custo:</b> Médio  <b>Manutenção:</b> Periódica  <b>Irrigação:</b> Periódica  <b>Uso:</b> Jardim</p>	<p><b>Altura do Substrato:</b> 15 a 40 cm  <b>Peso próprio:</b> 180 a 500 kg/m<sup>2</sup>  <b>Vegetação:</b> Árvores e arbustos  <b>Custo:</b> Alto  <b>Manutenção:</b> Alta  <b>Irrigação:</b> Regular  <b>Uso:</b> Jardim/ Parque</p> <p><b>Vantagens:</b> Permitir uma grande diversidade de plantas conduzindo a uma maior diversidade de habitats; possuir uma maior capacidade de retenção de águas pluviais em consequência da espessa camada de substrato; possuir melhores propriedades de isolamento tanto a nível térmico como acústico; permitir a acessibilidade a pessoas, traduzindo-se numa área funcional onde se podem desenvolver atividades de lazer e até atividades agrícolas.</p> <p><b>Desvantagens:</b> Necessitam de reforço estrutural devido às elevadas cargas que são transmitidas à estrutura do edifício; terem elevados custos de execução e manutenção; necessitam de um sistema de irrigação e sistema de manutenção, conseqüentemente, implicarem maiores consumos de energia, água e materiais.</p>

Fonte - Adaptado de International Green Roofs Association (IGRA) (2008).

Na Figura 2.5 evidencia-se de forma esquemática a composição de uma cobertura verde, cujas camadas apresentam variações consoante o sistema de cobertura a instalar.

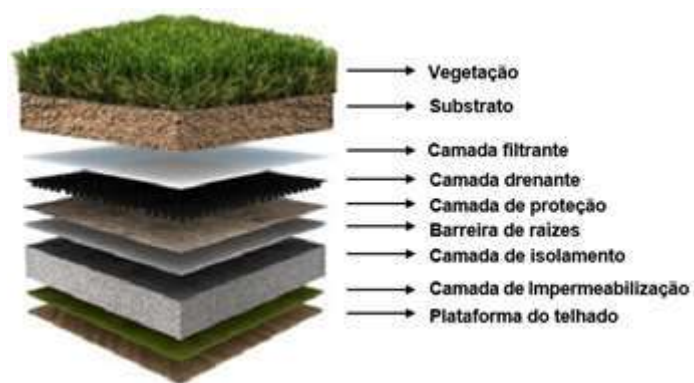


Figura 2.5 - Componentes da cobertura verde

Fonte - Adaptado de Vijayaraghavan, K. (2016).

Na execução de superfícies ajardinadas verticais, são identificadas diferentes tipologias construtivas. As paredes verdes são divididas em dois grupos principais: fachadas verdes e paredes vivas, de acordo com o apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Terminologias usadas nas paredes verdes

<b>Sistemas de Paredes Verdes</b>	
<b>Fachada Verde</b>	Directa
	Indirecta
<b>Paredes Vivas</b>	Sistemas Contínuos
	Sistemas Modulares

Fonte - Perini, K. et al. (2011).

As Fachadas Verdes são normalmente plantas trepadeiras que se desenvolvem na parede do edifício de forma direta ou indireta, Figura 2.6, estando esta classificação relacionada com o facto de a espécie vegetal se desenvolver diretamente sobre a superfície da parede ou numa estrutura de suporte auxiliar. As fachadas verdes indiretas podem ainda ser constituídas por estruturas de suporte modulares instaladas na superfície exterior das fachadas do edifício, que incluem vasos e uma estrutura de suporte onde se desenvolvem as espécies vegetais (Perini, K. et al. (2011)).



Figura 2.6 - Fachada verde direta (à esquerda) e indireta (direita)

Fonte - Adaptado de Francis, R. A. e Lorimer, J. (2011).

As paredes vivas são normalmente paredes que integram na sua superfície as espécies vegetais e também o substrato vegetal, que serve de suporte às plantas, ao contrário das fachadas verdes, cujo substrato se encontra na base da parede. Este sistema representa uma área recente de inovação no revestimento de paredes, que surge para permitir a integração de paredes verdes em edifícios altos, permitindo envolver a parede de uma forma rápida e uniforme, adaptando-se a todo tipo de edifícios, permitindo ainda uma grande diversidade de espécies vegetais.

Os sistemas de paredes vivas podem subdividir-se em sistemas contínuos e sistemas modulares. Os sistemas contínuos consistem em mantas de geotêxtil que servem de suporte ao substrato e às plantas.

### **Práticas de sustentabilidade associadas ao uso da água na reabilitação**

A conservação da água é um dos princípios básicos da construção sustentável. Os esforços devem ser feitos para garantir que o material e o sistema utilizados auxiliem na redução do consumo de água nos edifícios e na sua envolvente.

Existem várias formas de aumentar a eficiência no uso da água, uma delas passa pela utilização de dispositivos inteligentes que visam a redução e promovem a monitorização da utilização da água.

Numa linguagem simples, eficiência hídrica significa reduzir o uso de água e minimizar o seu desperdício. A eficiência hídrica implica o uso de tecnologias e práticas que permitem a realização do mesmo serviço com consumo mais reduzido.

Outra forma de promover o uso eficiente da água passa pela adoção de comportamentos adequados na utilização deste recurso. Um dos principais sectores que necessita da adoção destes comportamentos é a indústria da construção. Esta utiliza muita água e quase 20% dessa água, pode ser reduzida pela utilização de práticas mais sustentáveis.

A título de exemplo pode referir-se a cura do betão pelo método de lagoas. Este método permite reduzir a quantidade de água utilizada na cura do betão e é adequado à cura de superfícies horizontais, como lajes de cobertura, de pavimentos ou pavimentos de vias de comunicação (ver Figura 2.7).



Figura 2.7 - Lagoas de cura

Fonte - Kumar, S. (2020). <https://www.constrofacilitator.com/water-technologies-for-green-building/>

Pode também reduzir-se o consumo de água através da utilização de fontes de água alternativas, como por exemplo a recolha das águas da chuva (principalmente as de escorrência das coberturas) ou a reutilização da água. Na realidade, o princípio da gestão sustentável da água é alcançado usando fontes alternativas de água que podem ser fornecidas para atender às necessidades de água onde a qualidade pode não ser a da água potável. São considerados edifícios verdes aqueles que exigem a conservação da água, bem como a prevenção da poluição utilizando a reutilização da água cinzenta e a reciclagem da água tratada, garantindo o uso da água tratada apenas para fins potáveis e que podem integrar as melhorias a efetuar aquando de uma reabilitação.

O sistema de captação de água pluvial proveniente das coberturas utiliza o processo habitual de recolha da água através das caleiras para o tubo de queda (Figura 2.8) que transporta a água da chuva recolhida do telhado para o reservatório de armazenamento. O reservatório de armazenamento pode ser qualquer recipiente de armazenamento como RCC, alvenaria ou

tanques de água de material plástico que precisam de manutenção regular de limpeza e desinfecção.



Figura 2.8 - Sistema de aproveitamento de água pluvial

Fonte - Oficinadaagua.pt

Outra forma de aproveitar água pluvial é a partir da utilização de sistemas modulares de armazenamento de águas provenientes do solo (Figura 2.9). Este sistema é muito utilizado nos sistemas de drenagem dos relvados, permitindo armazenar água, fazendo com que esta se acumule à superfície e disponibilizando água quando é necessário, evitando a rega desnecessária com água de outras origens.



Figura 2.9 - Sistema de recolha e armazenamento de água pluvial de escorrência

Fonte - [www.graf-water.com](http://www.graf-water.com)

A água residual tratada pode ser usada de uma forma centralizada (após tratamento numa estação de tratamento de águas residuais domésticas (ETAR), ou pode optar-se por fazer a separação na origem, resultando duas tipologias de água: a água cinzenta e a água negra (esta última segue diretamente para a ETAR).

A água cinzenta é a água residual recolhida nas habitações, sem o contributo das águas negras, provenientes das sanitas. Estas águas exigem tratamento antes de serem usadas. O tratamento pode incluir a decantação, a remoção de óleos e gorduras, a filtração e, finalmente, a desinfecção. A água cinzenta tratada pode ser usada, sem grandes problemas, como água de refrigeração, irrigação e descargas de autoclismos. Este tipo de aproveitamento exige a instalação de um sistema de canalização dual, ou seja, a instalação de sistemas de tubagem separados para água reciclada (qualidade não potável) e água potável, sem que nunca se cruzem.

### **2.1.2 Economia Circular**

A Economia Circular contrasta com o modelo económico linear, que se baseia no princípio “produzir-utilizar-eliminar”, uma vez que se foca na produção e consumo que envolve a partilha, o aluguer, a reutilização, a reparação, a renovação e a reciclagem de materiais e produtos existentes, sempre que seja possível, de forma a alargar o ciclo de vida dos produtos. (Figura 2.10).



Figura 2.10 - Economia Circular

A economia circular implica maximizar a redução do desperdício e, conseqüentemente, dos resíduos gerados, uma vez que, quando um produto atinge o fim do seu ciclo de vida, parte importante dos seus materiais são mantidos dentro da economia, podendo ser novamente utilizados e, assim, criar valor acrescentado para a economia e para o ambiente.

Como referido anteriormente, o setor da construção tem um impacto ambiental muito significativo uma vez que necessita de grandes quantidades de recursos, representando cerca de 50% dos materiais extraídos da natureza. O setor da construção é, ainda, responsável por mais de 35% da produção de resíduos na UE provenientes da extração de matérias-primas, do fabrico de materiais de construção, dos diversos processos de construção e da renovação e demolição de edifícios.

O Plano de Ação para a Economia Circular refere a importância do aumento da eficiência dos materiais e a conseqüente redução dos impactes ambientais através da implementação de uma estratégia para a sustentabilidade do ambiente construído. A estratégia implica a integração de diversos domínios, como as alterações climáticas (descarbonização), a eficiência energética e, na utilização de recursos, a gestão dos resíduos de construção e demolição e a promoção dos princípios de circularidade em todo o ciclo de vida dos edifícios. Esta integração pode conseguir-se através da:

- Introdução de requisitos para o teor reciclado de determinados materiais de construção;

- Maior durabilidade e adaptabilidade dos edifícios construídos;
- Avaliação do ciclo de vida com vista à redução de emissões de carbono;
- Valorização de materiais dos RCD e das suas frações específicas.

### **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição**

Os resíduos provenientes de atividades de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação, demolição e derrocada de edificações, são classificados como «Resíduos de construção e demolição» (RCD) e representam até um terço do total dos resíduos produzidos na UE (COM/2014/0445, 2014).

A responsabilidade pela sua gestão recai nos produtores dos resíduos, ou seja, todas as pessoas singulares ou coletivas cuja atividade produza resíduos ou que efetue operações de pré-processamento, de mistura ou outras que alterem a natureza ou a composição desses resíduos. É responsabilidade dos produtores e dos operadores de gestão de RCD cumprir com as disposições aplicáveis aos fluxos específicos de resíduos contidos nos RCD, designadamente os relativos aos resíduos de embalagens, de equipamentos elétricos e eletrónicos, óleos usados e pneus usados.

Cabe aos produtores de RCD tomar as medidas necessárias para garantir a recolha seletiva dos resíduos na origem de forma a promover a sua reciclagem e outras formas de valorização. Adicionalmente em obras particulares, nas obras sujeitas a licenciamento ou comunicação é sua obrigação:

- Promover a reutilização de materiais, a incorporação de materiais reciclados e a valorização dos resíduos passíveis de serem utilizados na obra;
- Assegurar sistemas de acondicionamento adequado à gestão seletiva;
- Assegurar a aplicação da triagem;
- Assegurar que os resíduos são mantidos em obra o mínimo de tempo possível.

Grande parte dos RCD é reciclável, embora a recuperação média na UE27 seja ligeiramente inferior a 50% (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019). Esta particularidade reclama a implementação de princípios hierárquicos na demolição seletiva e gestão de RCD capazes de alavancar a transição para a economia circular. Essa hierarquia é a seguinte:

1. Prevenção;
2. Reutilização e preparação para a reutilização;
3. Reciclagem;
4. Valorização;
5. Eliminação.

A **Prevenção** da produção de RCD consiste em adotar medidas antes de uma substância, material ou produto assumir a natureza de resíduo para, assim, reduzir a quantidade de resíduos produzidos, os impactos ambientais e na saúde humana e o teor de substâncias perigosas presentes nos materiais e nos produtos. A construção e reabilitação de edifícios deve, assim, priorizar a prevenção da produção de resíduos e a sua transformação em recursos de elevada qualidade através da aplicação de princípios de circularidade e criação de valor no mercado das matérias-primas secundárias.

A Prevenção assenta em medidas capazes de dissociar o crescimento económico da produção de resíduos como são o redesenho de processos, produtos e adoção de novos modelos de negócio, reutilização de produtos e prolongamento do seu tempo de vida. A sua aplicação deve traduzir-se na redução até 2025 em 5% da quantidade de resíduos não urbanos por unidade de produto interno bruto (PIB), em particular no setor de construção civil e obras públicas, face aos valores de 2018. E em 2030, a redução deve ascender a 10 %.

A sustentabilidade e a circularidade na construção e reabilitação passam por incrementar a durabilidade, a possibilidade de reutilização, a capacidade de atualização e a reparabilidade dos produtos. A remanufatura e a reciclagem de alta qualidade aliadas à restrição da utilização única e ao combate da obsolescência prematura ao incentivar modelos de negócio tipo «produto como um serviço» ao longo do ciclo de vida são exemplos de medidas capazes de estimular a sustentabilidade sem nunca perder de vista o seu desempenho.

A preparação para a reutilização dos RCD compreende as operações de valorização que consistem no controlo, limpeza ou reparação, mediante as quais os resíduos são preparados para serem reutilizados, sem qualquer outro tipo de pré-processamento. A sua **Reutilização** acontece quando os produtos ou componentes já usados são utilizados novamente para o mesmo fim para o qual foram concebidos.

A **Reciclagem** dos RCD consiste na transformação dos materiais constituintes dos resíduos em produtos ou materiais para o seu fim original ou para outros fins, excluindo o seu reprocessamento em materiais utilizados em operações de enchimento.

Nos metais, é possível alcançar-se uma redução global dos impactes equivalentes em mais de 90% no alumínio e cobre utilizados e a cerca de 15% nas ligas de aço mais leves (COM/2014/0445, 2014). Quanto ao betão, o material mais utilizado nos edifícios, a sua reciclagem nos próprios locais da demolição ou construção permitirá reduzir o consumo de recursos naturais e a deposição de resíduos em aterro, reduzindo ainda a necessidade do seu transporte com as consequentes emissões de CO<sub>2</sub>.

A reciclagem pode também permitir poupanças de outros materiais. No caso do vidro plano e da lâ de vidro reciclada, uma tonelada de material reciclado traduz-se numa poupança de 1200 kg de material virgem, 25% de energia e 300 kg de emissões de CO<sub>2</sub> (diretamente ligadas ao processo de fusão). Para a lâ de rocha, os ganhos poderão ser da ordem de 5% no que diz respeito ao consumo de energia e das emissões. Quanto ao gesso, as avaliações do ciclo de vida mostram, tipicamente, reduções do potencial de aquecimento global, da toxicidade humana e da eutrofização de cerca de 4 a 5% na produção de uma placa com 25% de conteúdo reciclado, em vez de partir exclusivamente de matérias-primas virgens.

A **Valorização** consiste em qualquer operação de tratamento de resíduos cujo resultado principal seja a utilização, com ou sem transformação, dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico ou a preparação dos resíduos para esse fim na instalação ou conjunto da economia. Mais especificamente, a valorização material compreende as operações de valorização, que não sejam a valorização energética nem a produção de energia, incluindo, entre outras, a preparação para reutilização, a reciclagem e o enchimento.

No âmbito da contratação de empreitadas de construção e de manutenção de infraestruturas, ao abrigo do Código dos Contratos Públicos, é obrigatória a utilização de pelo menos 10 % de materiais reciclados ou que incorporem materiais reciclados relativamente à quantidade total de matérias-primas usadas em obra. A utilização de resíduos em operações de enchimento consiste numa forma de reutilizar RCD não perigosos, especificamente, em obras públicas em especial de terraplenagem.

As operações de tratamento de resíduos que não sejam de valorização, ainda que se verifique como consequência secundária a recuperação de substâncias ou de energia, são classificadas como **Eliminação**.

Em Portugal, os dados relativos aos RCD produzidos em 2018 identificam uma taxa de valorização de 78,24%, o que cumpriu com a meta estabelecida de encaminhamento de 70%,

no mínimo, de RCD não perigosos para reutilização, reciclagem e valorização, incluindo operações de enchimento (ver Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Quantidades dos diversos RCD valorizáveis (ton) encaminhadas por destino (2018)

Grupo	Armazenamento (R13)	Eliminação	Valorização	Total Geral
Betão, tijolos e ladrilhos	28 586	1 748	94 814 (75,76%)	125 148
Madeira, plástico e vidro	11 459	495	40 937 (77,40%)	52 891
Misturas betuminosas e alcatrão	43 806	656	338 502 (88,39%)	382 964
Metais e cabos não contendo substâncias perigosas	28 409	15	99 443 (77,77%)	127 867
Balastros de linhas de caminho de- ferro não contendo substâncias perigosas	4 530		24 (0,52%)	4 554
Materiais de isolamento não perigosos	1 822	2 167	1 872 (31,94%)	5 861
Gesso	1 976	561	2 719 (51,73%)	5 255
Misturas de RCD	272 689	72 686	1 117 607 (76,39%)	1 462 983
Total Geral	393 277 (18,14%)	78 328 (3,61%)	1 695 918 (78,24%)	2 167 522 (100%)

Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (2019).

Estes dados sinalizam a relevância dos Plano de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição pelo modo como as várias etapas da demolição serão executadas, se identificam os responsáveis pela sua execução, os materiais a separar, o seu transporte e o método de reciclagem, reutilização ou eliminação.

Os materiais podem ser reciclados no local, e convertidos em novos recursos de construção, ou fora do local, em estações de reciclagem. Os materiais habitualmente reciclados são, entre outros, o metal, a madeira, o asfalto, pavimentos, betão e outros materiais à base de pedra,

cerâmicas (ex. tijolos, telhas, betão e alvenaria), materiais para coberturas, cartão canelado e painéis de parede. A reciclagem deve ser promovida sobretudo em zonas com grande densidade populacional, onde a oferta e a procura estão geograficamente próximas, resultando em distâncias de transporte mais curtas do que as que são necessárias para o transporte de materiais primários, como é o caso dos agregados.

Aspeto fundamental na separação dos materiais é a eficiência nas operações na origem. Maior eficácia traduz-se em maior qualidade dos agregados e dos materiais reciclados. Porém, o sucesso da separação na origem está condicionado a um conjunto de fatores, tais como:

- A prioridade deve recair nos materiais para os quais já existem mercados secundários;
- Devem diferenciar-se os materiais, tendo em conta as suas opções de tratamento: reutilização; reciclagem e eliminação;
- Devem remover-se (descontaminar) e separar os resíduos perigosos.

Os principais fluxos de resíduos, incluindo resíduos inertes, devem ser tratados separadamente. Para a reutilização ou reciclagem destes materiais em aplicações de elevada qualidade a demolição deve ser seletiva, o que implica um conjunto cada vez maior de materiais (ex. vidro, mármore, madeiras, sanitárias, caldeiras/esquentadores e canalizações e radiadores de aquecimento central, caixilharias, estruturas de aço e materiais de revestimento) desmantelados manualmente.

O gesso, a espuma de isolamento, o betão, a lã mineral e a lã de vidro devem igualmente ser considerados para reutilização ou reciclagem. Os resíduos de embalagens de plástico, madeira, cartão e metal devem ser submetidos a uma triagem adequada. Adicionalmente o uso de embalagens nos locais de construção deve ser minimizado através da otimização das cadeias de abastecimento. A opção de utilizar os resíduos para enchimento deve ser o último recurso, já que pode comprometer a reutilização e a reciclagem em aplicações ou produtos de valor mais elevado.

## **Desconstrução**

Um edifício ou construção quando atinge o seu horizonte de projeto ou deixa de cumprir as exigências estruturais ou funcionais para o qual foi construído é geralmente demolido, total ou parcialmente, gerando uma grande quantidade de resíduos.

Existem vários tipos de demolição sendo que, em todos eles, o objetivo consiste na realização de trabalhos necessários para a remoção da estrutura e/ou de materiais aplicados num edifício ou construção de modo a viabilizar os trabalhos de reconstrução ou de reabilitação. Os processos de demolição tinham, até agora, como princípio básico efetuar os trabalhos no mais curto espaço de tempo para poder minimizar custos de operação. No entanto, este procedimento tinha como consequência que os produtos resultantes da demolição acabassem todos misturados sendo encaminhados para aterro ou descartados noutros locais não previstos para o efeito.

Numa perspetiva de sustentabilidade e economia circular, pretende-se que numa demolição o que até agora era considerado como “resíduo” passe a ser encarado como “matéria prima”, criando-lhe valor acrescentado. Tal só é possível através da reutilização e da reciclagem dos produtos, o que implica que estes sejam desmontados para poderem ser reutilizados, ou separados de acordo com a sua natureza para poderem ser reciclados.

Neste contexto, a desconstrução, é um novo conceito, que tem vindo a ganhar força à medida que a consciencialização ambiental vai sendo cada vez maior. A desconstrução também é designada por demolição seletiva, caracterizada pelo desmantelamento cuidadoso de um edifício ou de uma construção, de modo a promover (Couto, A. et al., 2006):

- a reutilização através da recuperação de materiais e componentes da construção;
- a reciclagem atuando sobre uma eficaz separação dos produtos.

A Figura 2.11 apresenta materiais de construção provenientes da desconstrução de algumas obras e com grande potencial de reutilização.



Figura 2.11 - Exemplo de materiais de construção provenientes da desconstrução de algumas obras e com grande potencial de reutilização

A desconstrução arrasta atrás de si um grande número de vantagens e desvantagens. Com efeito, quer a reutilização, quer a reciclagem evitam:

- a extração de matérias primas;
- a deposição em aterro de grandes quantidades de materiais.

A reutilização é um processo mais vantajoso a nível ambiental que a reciclagem, embora observe maiores limitações. Obsta, a transformação dos produtos evitando desta forma:

- os custos de aquisição de novos materiais;
- os custos do seu processamento;
- os custos da mão-de-obra associada à sua transformação;
- o consumo de energia associado à sua transformação;
- a produção de resíduos.

No entanto, obriga a que os produtos a reutilizar:

- estejam em bom estado de conservação;
- não sejam danificados durante o desmonte;
- sofram adaptações e reparações.

A reutilização pode condicionar a nova construção, a nível de geometria, forma, entre outros aspetos e geralmente exige adaptação dos componentes à sua nova utilização bem como as necessárias reparações pelo que a normalização dos produtos, o estudo das ligações e das tecnologias é fundamental.

A construção modular e a pré-fabricação são processos de construção que facilitam a desconstrução e reutilização e que sendo processos industriais mais controlados geram menos resíduos e podem conferir aos produtos maior durabilidade.

Quanto à reciclagem, como já foi referido, caracteriza-se pelo reaproveitamento de um material usado para dar origem ao mesmo ou a um novo produto, recorrendo a processos industriais de transformação, implicando consumo de energia. Nem todos os materiais têm a mesma capacidade de serem reciclados sendo que os materiais compósitos são regra geral os de mais difícil reciclagem pela dificuldade de separação dos diferentes componentes. Uma separação eficaz na origem é fundamental para separar os materiais por fluxos que devem ficar isentos de contaminantes, sendo a desconstrução um processo que favorece a “pureza” das diversas frações.

A Figura 2.12 apresenta agregados provenientes de algumas obras e com grande potencial de reciclagem.



Figura 2.12 - Exemplo de agregados provenientes de algumas obras, triados e com grande potencial de reciclagem

Há um grande número de opções de reciclagem e, portanto, de valorização de materiais provenientes dos RCD, no entanto, muitas vezes a sua utilização, em especial como agregados para betões são vistos com bastante desconfiança, com receio de perda de qualidade, quer a nível de resistência, quer a nível de durabilidade, sobretudo relacionada com a variabilidade dos materiais a utilizar e a sua contaminação por outros produtos. Há, ainda, muito trabalho a nível de investigação a fazer no que respeita ao estudo, comportamento e aplicabilidade dos materiais reciclados.

Um aspeto muito importante relacionado quer com a reutilização quer com a reciclagem prende-se com a qualidade, a segurança e as tecnologias a utilizar.

A Figura 2.13 mostra a imagem de um pavilhão industrial construído totalmente com materiais reutilizados, onde se faz corte de cantaria de granito desmontada para fabrico de lancis de passeio. Apresenta-se ainda a imagem de um edifício e de um muro feitos com cantaria usada.



Figura 2.13- Edifícios construídos com materiais reutilizados

A desconstrução exige sempre:

- mão de obra mais qualificada;
- mais tempo até ser concluído o desmonte seletivo total ou parcial de materiais como, telhas, revestimentos, caixilharias, paredes, estruturas de betão, metálicas e de madeira, entre outros.

A desconstrução encerra em si muitos desafios para o futuro da construção que passam por:

- investir no eco design dando primordial destaque ao tipo de ligações entre os diversos elementos construtivos, favorecendo as ligações que facilitem a desmontagem tais como ligações mecânicas (por exemplo as ligações aparafusadas) ao invés da utilização de ligações mais solidárias como as ligações químicas (por exemplo a colagem);
- Investir na maior durabilidade dos materiais e na possibilidade de serem facilmente reparados;
- Investir na execução de projetos de desconstrução que deverão prever antecipadamente a forma de tratar o desmantelamento da construção, quando chegar a altura em que isso seja necessário.
- Investir em projetos de execução que contemplem:
  - o A utilização de materiais reutilizados e reciclados;
  - o A utilização de sistemas de construção openspace para flexibilizar as alterações na compartimentação dos espaços;
  - o A utilização de revestimentos que não contaminem a base e que não comprometam a reciclagem.
- Investir na normalização:
  - o A nível da forma e das dimensões das componentes de construção para serem mais facilmente integrados em novos projetos;
  - o A nível dos conectores devendo utilizar-se um número mínimo de diferentes tipos de conectores para facilitar a montagem e desmontagem;
  - o A nível de tecnologias de montagem e desmontagem.
- Investir na catalogação dos produtos e na identificação de diferentes materiais de forma a facilitar o mercado dos materiais reutilizáveis;
- Investir na criação de mercados de produtos usados, nomeadamente mercados online;
- Melhorar o conhecimento e sensibilização dos principais intervenientes, como os donos de obra, projetistas e empreiteiros para a desconstrução;
- Preparar as empresas para uma legislação cada vez mais restritiva em termos ambientais.

### 2.1.3 Análise de ciclo de vida como ferramenta para avaliação da sustentabilidade

Os intervenientes no ciclo de vida do ambiente construído, desde a sua conceção, fabrico, distribuição, comercialização e utilização até ao manuseamento dos respetivos resíduos, são corresponsáveis pela sua gestão, devendo contribuir, na medida da respetiva intervenção e responsabilidade.

Ao abrigo deste princípio diversas iniciativas, de carácter obrigatório ou facultativo, têm sido implementadas para reforçar a sustentabilidade dos produtos ao longo do seu ciclo de vida. É o caso da promoção da conceção ecológica de produtos e materiais, através da integração de aspetos ambientais na sua conceção, visando melhorar o seu desempenho.

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) ou internacionalmente Life Cycle Assessment (LCA) permite avaliar os impactes ambientais e aumentar o desempenho ambiental de serviços, produtos, processos e sistemas; auxiliar na adoção de decisões ambientalmente favoráveis; quantificar as emissões ambientais para o ar, água e solo relativamente a cada estágio de ciclo de vida, e efetuar análises comparativas de impactes entre dois ou mais produtos, processos ou serviços.

A ACV é uma metodologia de avaliação do impacto ambiental associado a um produto ou serviço, desde a extração das matérias-primas, passando pela produção e utilização, até à deposição final (Figura 2.14).



Figura 2.14 - Ciclo de Vida dos Produtos

A ACV consiste em quatro fases interligadas: a Definição de Âmbito e Objectivos da análise; o Inventário de Ciclo de Vida; a Avaliação de Impacte Ambiental e a Interpretação de Resultados (Figura 2.15).



Figura 2.15 - Fases da Análise de Ciclo de Vida

### **Definição do Âmbito**

Na definição do âmbito são considerados os inputs e outputs dos sistemas. Para o efeito é necessário quantificar os fluxos de referência de cada processo desde a extração dos recursos até à descarga final no ambiente, indexados a uma unidade funcional.

Esta estratégia metodológica viabiliza a comparação entre sistemas, uma vez que a unidade funcional constitui a referência de todos os fluxos e reflete todas as funções e processos do sistema. No entanto, isto é normalmente impraticável, pelo que têm de ser decididos quais os processos que devem ser incluídos ou excluídos dos limites do sistema.

### **Inventário de Ciclo de Vida**

O Inventário de Ciclo de Vida (ICV) consiste na recolha de dados referente às intervenções que provocam alterações no ambiente em consequência das atividades associadas à execução da unidade funcional.

A recolha e validação da informação de base (medidas, calculadas ou estimadas) de cada processo devem assegurar a quantificação dos inputs e outputs do sistema considerado, tais como: matérias-primas, materiais, energia e emissões poluentes (sólidas, líquidas, gasosas). Esta quantificação resulta numa lista de dados indexada à unidade funcional.

Os dados do inventário devem apresentar-se em formato normalizado e referenciados em relação a uma dada unidade de saída, para cada operação unitária, de modo a viabilizar a elaboração de balanços de massa e energia (Figura 2.16).

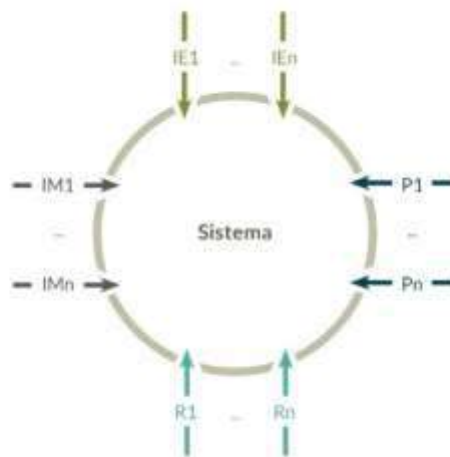


Figura 2.16 - Representação genérica de um sistema de produto

Onde  $P_i$  representa os produtos e sub-produtos do sistema e  $IM_i$ ,  $IE_i$  e  $R_i$  traduzem inputs de massa e energia e outputs de resíduos, respetivamente, sendo que  $i$  varia de 1 a  $n$ .

### **Avaliação de Impacte Ambiental de Ciclo de Vida**

O impacte ambiental é definido como o conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e área (situação de referência). Todavia, da fase de inventário de ciclo de vida resulta uma grande quantidade de dados cuja análise impõe a redução a um conjunto limitado de informação.

A Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) dá a magnitude e significado ao impacte ambiental potencial de produtos/processos através da transformação das intervenções ambientais em efeitos ambientais (categorias de impacte ambiental). A AIA compreende uma série de etapas

obrigatórias: a) Seleção das categorias de impacto (seleção da metodologia); b) Classificação de impactos e c) Caracterização de impactos.

As categorias de impacto utilizadas podem caracterizar o desempenho através da avaliação de efeitos (midpoint) ou de danos (endpoint) (Figura 2.17). As categorias de impacto ambiental abordam os efeitos no meio ambiente; por exemplo, o Aquecimento Global, a Depleção do Ozono, a Formação de Oxidantes Fotoquímicos, a Acidificação, a Eutrofização, a Toxicidade Humana, a Ecotoxicidade e a Depleção de Recursos. As categorias de impacto final ou de dano concentram-se na avaliação dos efeitos terminais (danos) provocados por determinada intervenção ambiental reportando o seu efeito na sociedade (por exemplo: Saúde Pública, Qualidade dos Ecossistemas e Quantidade de Recursos).



Figura 2.17 - Diferenciação de estratégias de avaliação de desempenho ambiental

O conjunto de todos os indicadores de todas as categorias traduz o perfil ambiental. É este perfil ambiental que viabiliza a comparação de sustentabilidade entre diversas estratégias de prestação de serviços, conceção de produtos ou seleção de processos e sistemas ao assegurar a comparação do desempenho ambiental de idênticas unidades funcionais.

## **2.2 Eficiência Energética e Conforto Interior dos Edifícios**

### **2.2.1 Introdução aos conceitos de eficiência energética e conforto interior dos espaços**

A introdução de soluções mais eficientes energeticamente em obras de renovação ou de grande renovação em edifícios é de grande relevância para o tecido económico e social, já que existe uma premência, devido ao aumento do custo de energia e à emergência das alterações climáticas, de:

- Reduzir de forma consistente, os consumos energéticos dos edifícios e, conseqüentemente, reduzir a fatura da energia;
- Reduzir, de forma drástica, as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e, conseqüentemente, o efeito de estufa que tem vindo a ser uma das principais causas do aquecimento global do planeta.

Assim, serão apresentadas, neste capítulo, algumas recomendações, com a respetiva justificação, para a introdução de sistemas que aumentam a eficiência energética dos edifícios. Essas recomendações serão distribuídas pelos seguintes temas:

- Desenvolvimento de sistemas de aquecimento e arrefecimento eficientes;
- Considerar o armazenamento térmico;
- Selecionar sistemas de paredes exteriores e de coberturas com isolamentos térmicos muito eficientes para a estação de Inverno;
- -Instalação de proteções solares eficientes para a estação de Verão;
- Integração de sistemas solares passivos de aquecimento;
- Utilização de técnicas de arrefecimento passivo através da ventilação natural por varrimento;
- Instalação de sistemas solares ativos e passivos.

Por outro lado, pretende-se também, num processo de renovação ou de grande renovação de um edifício, assegurar o conforto dos seus utilizadores. Considera-se, normalmente, este objetivo como prioritário já que o seu sucesso vai transmitir aos utilizadores e à sociedade um valor acrescido para o imóvel, demonstrado, principalmente, pela melhoria da classe energética.

Embora o conforto interior dos espaços seja o resultado combinado de um estado físico e psicológico, com toda a subjetividade que estes indicadores contemplam, existem diferentes

componentes do conforto ambiental que é possível identificar. Por isso, interessa analisar em que medida é possível renovar o edifício proporcionando aos moradores um elevado conforto no interior dos espaços. Assim, pretende-se analisar e propor recomendações para proporcionar um elevado conforto térmico, tanto para a estação de Inverno, como para a estação de Verão, assim como uma boa qualidade do ar interior, explorando as potencialidades da ventilação natural ou mista.

### **2.2.2 Melhoria da eficiência energética na reabilitação de edifícios**

A eficiência energética é um fator importante que se deve ter em consideração para a reabilitação de edifícios. Este facto é fundamental para um bom desempenho energético do edifício, devendo adequar-se os edifícios ao clima em que este está inserido e à sua exposição solar. Neste último aspeto, e tendo em conta que existe uma maioria de situações de edifícios onde predominam vãos envidraçados com áreas generosas, existem várias soluções construtivas importantes no que diz respeito às transferências de calor na estação de Inverno e que devem ser usadas sempre que possível.

Dado que a energia é um recurso que é fundamental para a sociedade, e que a energia que os edifícios consomem é, em grande parte, proveniente de combustíveis fósseis como o carvão, o gás natural e o petróleo, a sua utilização aumenta a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, o que contribui para o conseqüente aquecimento global por acumulação de gases de efeito de estufa. Por isso, torna-se imperativo reduzir o consumo de energia nos edifícios, e a única forma é através do aumento da sua eficiência energética.

Encontram-se em estudo, atualmente, vários sistemas de otimização da eficiência energética de equipamentos para a climatização e aquecimento de águas sanitárias dos edifícios, dado que estes são os domínios onde ocorre o maior consumo. No entanto, qualquer sistema eletrónico ou eletromecânico está preparado para responder às necessidades de energia necessárias para esse efeito, mediante os seus sistemas de controlo e gestão da temperatura pelo que quanto maiores forem as necessidades de energia, maior é o seu consumo, independentemente de serem muito ou pouco eficientes.

Assim, o primeiro passo a ser seguido na procura da eficiência energética na reabilitação de edifícios, para otimizar a redução do consumo energético, consiste no reforço do isolamento térmico das envolventes dos edifícios.

A legislação portuguesa prevê, nos casos de grande renovação de edifícios, um conjunto de requisitos de eficiência relativos aos isolamentos térmicos que não podem ser ultrapassados, tanto para a envolvente opaca como para os vãos envidraçados, como se pode ver nas Figuras 2.18 e 2.19, onde se encontram transcritos os valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica para elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação, como consta do art.º 2.1 do Anexo I da Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho e do art.º 2.2 do Anexo I da mesma Portaria.

**Tabela 1 — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação — Portugal Continental,  $U_{m\acute{a}x}$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)]**

Portugal Continental			Zona Climática		
Tipo de elemento	Condição fronteira	I1	I2	I3	
Zona corrente da envolvente	Verticais . . . . .	Exterior ou interior com $b_{zhu} > 0,7$ . . . . .	0,50	0,40	0,35
		Interior com $b_{zhu} \leq 0,7$ . . . . .	2,00	2,00	1,90
	Horizontais . . . . .	Exterior ou interior com $b_{zhu} > 0,7$ . . . . .	0,40	0,35	0,30
		Interior com $b_{zhu} \leq 0,7$ . . . . .	1,65	1,30	1,20
Zona de PTP . . . . .	Verticais . . . . .	Exterior . . . . .	0,90		
		Interior com $b_{zhu} > 0,7$ . . . . .	1,75	1,60	1,45
		Interior com $b_{zhu} \leq 0,7$ . . . . .	2,00	2,00	1,90
	Horizontais . . . . .	Exterior . . . . .	0,90		
		Interior com $b_{zhu} > 0,7$ . . . . .	1,25	1,00	0,90
		Interior com $b_{zhu} \leq 0,7$ . . . . .	1,65	1,30	1,20

Figura 2.18 - Valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica para elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação

Esta tabela significa que para uma região I1 ( $GD \leq 1300^{\circ}C$ ) é necessário, no mínimo, uma espessura de isolamento térmico de fachadas de 5 cm, para uma região I2 ( $1300^{\circ}C < GD \leq 1800^{\circ}C$ ), são necessários 7 cm e para uma região I3 ( $GD > 1800^{\circ}C$ ) é preciso um isolamento de 9 cm, no mínimo. Aplica-se uma situação similar aos isolamentos de coberturas, sendo as espessuras de isolamento térmico de, respetivamente, 8, 10 e 12 cm de espessura de isolamento térmico.

**Tabela 6 — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada,  $U_{w,máx}$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)]**

	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental:			
Edifícios de habitação .....	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços .....	3,30	3,30	3,30

Figura 2.19 - Valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica para elementos da envolvente envidraçada dos edifícios de habitação

Os vãos envidraçados eficientes existentes no mercado com um vidro duplo certificado e uma proteção solar opaca cumprem com a tabela acima apresentada.

Resulta do trabalho de cálculo da eficiência energética de edifícios de habitação que o cumprimento dos valores acima apresentados, que correspondem aos valores máximos regulamentares, implicará a obtenção de uma classe energética B- que corresponde à classe energética dos edifícios mais baixa em que os valores calculados não ultrapassam os valores de referência para aquecimento e arrefecimento dos espaços habitacionais. Mas, os valores de referência para o consumo energético conduzem, mesmo assim, a substanciais gastos em energia tanto de aquecimento como de arrefecimento.

No sentido de melhorar a eficiência energética dos edifícios e, conseqüentemente reduzir a dependência da energia a consumir, importa estudar a forma como, aumentando a capacidade de isolar e proteger termicamente os espaços habitacionais, se consegue diminuir o consumo de energia para climatização e aquecimento de águas sanitárias.

Existem recomendações várias, para esta finalidade, algumas propostas pelo Prof. Vasco Peixoto de Freitas, no seu *Manual de apoio ao projeto de reabilitação de edifícios antigos, publicado pela Ordem dos Engenheiros em 2012* (Freitas, 2012), “...qualquer tipo de intervenção de reabilitação deverá ser encarada como uma oportunidade para melhorar o comportamento térmico do edifício e reduzir o consumo de energia, tanto mais que os edifícios antigos apresentam, de uma maneira geral, um comportamento térmico deficiente, tendo sido construídos muito antes da entrada em vigor de qualquer regulamentação nacional nesta área.”.

*“De modo a otimizar a eficiência energética dos edifícios antigos recomendam-se as seguintes medidas:*

*Reforço do isolamento térmico da envolvente opaca, preferencialmente pelo exterior;*

*Tratamento dos vãos envidraçados, quanto à estanqueidade ao ar, à proteção solar e ao seu coeficiente de transmissão térmica – U;*

*Conceção de sistemas que garantam, de uma forma controlada, a necessária renovação de ar, utilizando sempre que possível a ventilação natural;*

*Recurso eventual a tecnologias solares;*

*Maximização da ventilação noturna (no verão);*

*Melhoria da eficiência energética de eventuais sistemas e equipamentos existentes;*

*Maximização dos ganhos solares sem perdas adicionais de energia pelos vãos envidraçados.”*

Deste modo, na reabilitação de edifícios, uma conceção adequada de soluções construtivas e de equipamentos a utilizar, irá refletir-se no desempenho térmico que o mesmo pode vir a ter, assim como no resultado final do consumo energético. Logo, se o consumo de energia for bastante baixo, o edifício pode considerar-se como muito eficiente. Estas estratégias ajudaram a alcançar os requisitos definidos para um edifício com Necessidades Quase Nulas de energia, os chamados de NZEB's.

Um Edifício com Necessidades Quase Nulas de Energia, tem que possuir uma classe energética oficial A ou A+, além de minimizar o consumo de energia, tem a possibilidade de as suas necessidades de energia para climatização e AQS poderem ser supridas por equipamentos de autoprodução de energia e armazenamento de energia. Esta opção de projeto poderá, eventualmente, aproximar o consumo de energia da rede do zero, tendo em conta o ciclo de produção / consumo de energia.

A opção de reabilitar um edifício de modo a torná-lo com necessidades quase nulas de energia, Edifício NZEB, implica tomar conhecimento da definição regulamentar:

*«Edifício com necessidades quase nulas de energia» - Edifício com um desempenho energético muito elevado, determinado através da metodologia mencionada no artigo seguinte, e no qual as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas são cobertas, em grande medida, por energia proveniente de fontes renováveis preferencialmente locais.*

Com efeito, o artigo 9.º da Diretiva n.º 2010/31/UE exige aos Estados Membros que assegurem que, a partir de 31 de dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por entidades públicas sejam edifícios NZEB, e que todos os demais edifícios novos, incluindo os edifícios de

habitação, sejam igualmente edifícios NZEB a partir de 31 de dezembro de 2020. Encontram-se, assim, criados, do ponto de vista legal, os edifícios NZEB, que têm como características e objetivo necessidades energéticas quase nulas. Estes edifícios terão um elevado nível de eficiência energética porque possuem um reduzido consumo de energia devido a serem edifícios que apostam em equipamentos e sistemas de climatização eficientes, produzindo a sua própria energia de forma barata, renovável e não poluente, contribuindo para a redução da poluição climática.

Consequentemente, a classificação energética transmitida pelo certificado energético é indissociável da obtenção de um Edifício com Necessidades Quase Nulas de Energia, ou seja, só poderá ser considerado um edifício como NZEB se possuir uma classe energética oficial A+ ou A, de acordo com a Portaria 98/2019 publicada em 2 de abril de 2019.

Este caminho, de condução à criação dos edifícios NZEB, tem vindo a ser construído por etapas, do ponto de vista de publicação de legislação em Portugal. Nesta foi introduzida inicialmente a obrigatoriedade de aprovação de projetos com classe energética mínima de B- (embora possam existir casos em reabilitação de edifícios antigos em que é aceitável a classe C), naquilo que se considera, neste estudo, a opção de “cumprimento dos requisitos mínimos obrigatórios”. Por isso, existem, neste momento, condições para se elaborar projetos, para grandes intervenções em edifícios existentes, que cumpram com os conceitos NZEB, nos quais deverá ser dada especial atenção à:

- Eficiência energética exigente e economicamente rentável, que pode ser obtida através da otimização da produção de energia solar térmica e fotovoltaica, sendo o edifício dotado de equipamentos com essa finalidade;
- Saúde e qualidade do ar interior, através de ventilação natural permanente ou controlada;
- Minimização de consumos energéticos em:
  - Iluminação e equipamentos;
  - Aquecimento de águas sanitárias;
  - Aquecimento e arrefecimento do ambiente.

Um critério de projeto seguido por vários autores e que pode ser considerado como exemplo para se atingir um edifício NZEB é a norma Passivhaus, sendo este um conceito definido por um

padrão eficiente sob o ponto de vista energético, ecológico, economicamente acessível e confortável. Estes edifícios têm a capacidade de reduzir as necessidades de aquecimento e arrefecimento em cerca de 90% em edifícios existentes e 75% em relação à construção nova.

Na figura seguinte é apresentado um esquema simplificado comparativo entre os dois patamares de eficiência anteriormente referidos, o projeto elaborado de acordo com os regulamentos em vigor (lado esquerdo) e o projeto a elaborar com os critérios Passive House (lado direito).

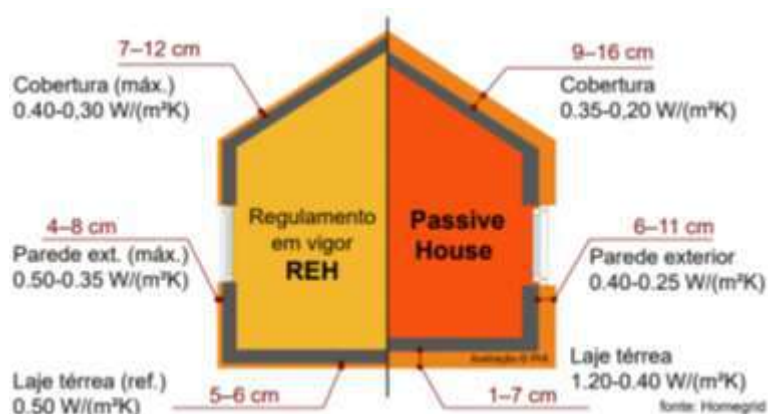


Figura 2.20 - Comparação entre Coeficientes de Transmissão Térmica Prevista na Legislação Atual e nas Regras Passivhaus

A adoção de um critério NZEB para projetos implica, do ponto de vista de escolha das soluções construtivas, em primeiro lugar, uma diminuição no mínimo de 25% relativamente às perdas energéticas na estação de inverno da envolvente e de ventilação; deverá ser garantido que, em sede de projeto de arquitetura, sejam criadas condições para que a conjugação das necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e produção de água quente sanitária conduz inequivocamente à obtenção das classes A+ ou A (Ntc menor ou igual que 50% do Nt).

Como exemplos de melhoria dos isolamentos térmicos, nas paredes exteriores deve existir isolamento térmico entre os 8 e os 10 cm com um coeficiente térmico que pode variar entre os 0.4-0.25 W/(m².°C), para as coberturas o isolamento térmico deve possuir uma espessura entre os 8 e os 16 cm, consoante as zonas onde se situa a construção.

Apresenta-se, a seguir, uma tabela comparativa usada num estudo de caso de obtenção de um edifício reabilitado com características NZEB entre as soluções construtivas previstas para duas situações de projeto:

Tabela 2.4 - Comparação entre as soluções previstas para o projeto standard e o projeto NZEB

Envolvente	PROJETO STANDARD		PROJETO NZEB	
	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> . °C)	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> . °C)
PDE1	Parede exterior constituída por reboco (1,5 cm) de espessura, alvenaria em granito (55 cm), isolamento de cortiça (6 cm), caixa de ar (3 cm) e placa de gesso cartonado (1,3 cm)	0,47	Parede exterior constituída por reboco (1,5 cm) de espessura, alvenaria em granito (55 cm), isolamento de cortiça (10 cm), caixa de ar (3 cm) e placa de gesso cartonado (1,3 cm)	0,32
PDE2	Parede exterior constituída por reboco armado de cor clara (1 cm), isolamento térmico em cortiça (6 cm), alvenaria em granito (55 cm), e placas de gesso cartonado (1,3 cm).	0,49	Parede exterior constituída por reboco armado de cor clara (1 cm), isolamento térmico em cortiça (10 cm), alvenaria em granito (55 cm), e placas de gesso cartonado (1,3 cm).	0,34
PDE3	Parede exterior constituída por reboco (1,5 cm) parede em granito (55 cm) isolamento de cortiça (6 cm) caixa de ar (3 cm) e placa de gesso cartonado com (1,3 cm).	0,47	Parede exterior constituída por reboco (1,5 cm) parede em granito (55 cm) isolamento de cortiça (10 cm) caixa de ar (3 cm) e placa de gesso cartonado com (1,3 cm).	0,31
VE1	Vão de abrir/fixos nas fachadas, vidros duplos (Float incolor 4 mm/ cx 12 mm, 4 mm), constituído por caixilharia de madeira de classe 2 de permeabilidade ao ar com portadas interiores de cor clara para sombreamento.	2,50	Vão de abrir/fixos nas fachadas, vidros duplos (Float incolor 4 mm/ cx 12 mm/ Planitherm Total 4 mm), caixilharia em madeira de classe 2 de permeabilidade ao ar com portadas interiores de cor clara para sombreamento.	1,82
VE2	Vão de abrir/fixos nas fachadas, vidros duplos (Float incolor 4 mm/ cx 12 mm, 4 mm), constituído por caixilharia em madeira com corte térmico de classe 2 de permeabilidade ao ar e cortinas interiores pouco transparentes para sombreamento.	2,80	Vão de abrir/fixos nas fachadas, vidros duplos (Float incolor 4 mm/ cx 12 mm / Planitherm Total 4 mm), constituído por caixilharia em madeira de classe 2 de permeabilidade ao ar e cortinas interiores pouco transparentes para sombreamento.	2,00
COB1	Cobertura constituída por telha marselha, sub-telha do tipo Onduline, isolamento em cortiça com (8 cm) de espessura e aglomerado de OSB apoiado sobre a estrutura de madeira.	0,40	Cobertura constituída por telha marselha, sub-telha do tipo Onduline, isolamento em cortiça com (12 cm) de espessura e aglomerado de OSB apoiado sobre a estrutura de madeira.	0,22

A adoção de sistemas de isolamento térmico e de vãos envidraçados muito eficientes não implica a eliminação de consumo de energia para climatização, tanto na estação de aquecimento, como na estação de arrefecimento, nem para aquecimento de águas sanitárias,

pele que, como segundo passo na melhoria da eficiência energética do edifício, existe a necessidade de adotar equipamentos muito eficientes em alternativa aos equipamentos ditos “standard” para atingir níveis de eficiência elevados.

Apresenta-se, a seguir, uma tabela comparativa usada no mesmo estudo de caso de obtenção de um edifício reabilitado com características NZEB entre as opções de equipamentos para as duas situações de projeto:

Tabela 2.5 - Comparação entre as soluções previstas para o projeto standard e o projeto NZEB

Equipamentos	PROJETO STANDARD		PROJETO NZEB	
	Descrição	Produção / consumo de energia (kWh / ano)	Descrição	Produção / consumo de energia (kWh / ano)
Aquecedores elétricos / Ar Condicionado	Sistema constituído por aquecedores elétricos de parede, com eficiência igual a 1.	Aquec. 2974,0 Arref. N/A	Climatização por splits com potência nominal de 9,6 / 8,0 kW e SCOP / SEER de 4,80 / 7,27.	Aquec. 619,00 Arref. 106,40
Coletor Solar Térmico - AQS	Coletor solar térmico padrão para um T3 (4 hab.), com 1,95 m <sup>2</sup> de área e acumulador interior com 160 litros.	1.399,00	Coletor solar térmico de elevado rendimento para um T3 (4 hab.), com 2,37 m <sup>2</sup> de área e acumulador interior com 160 litros.	1.823,00
Termoacumulador elétrico / Bomba de calor - AQS	Termoacumulador elétrico interior de 160 litros, resistência elétrica com 1,5 kW, isolamento térmico de 50mm, com eficiência de 0,95.	1.031,00	Bomba de calor interior mural com capacidade de 160 litros, consumo elétrico de 600 W, potência térmica de 1920 W, COP de 3,26.	169,94

No exemplo apresentado, verifica-se que o coletor de elevado rendimento possui uma produção de energia 30% superior ao coletor padrão, enquanto a utilização de uma bomba de calor AQS reduz em 83% o consumo de energia elétrica quando comparada com um termoacumulador elétrico novo. O consumo de energia elétrica para aquecimento, utilizando ar condicionado de elevada eficiência, é muito reduzido.

Como consequência da análise de melhoria dos isolamentos térmicos e de introdução de equipamentos muito eficientes, conclui-se que os consumos anuais de energia para as

finalidades acima descritas serão reduzidos pelo que se conclui que é possível ter consumos de energia quase nulos ou mesmo nulos se houver autoprodução de energia elétrica inserida no processo de reabilitação. Essa autoprodução de energia elétrica é obtida através de painéis fotovoltaicos, sendo o objetivo pretendido o de reduzir ou anular as necessidades de consumo de energia vindas do fornecedor público, logo reduzir ou anular os custos com o consumo de energia, de acordo com a metodologia NZEB.

Neste ponto, interessa discernir o tipo de ocupação dos espaços a reabilitar, que se dividem nos seguintes tipos:

- Espaços habitacionais;
- Espaços de comércio e serviços.

No primeiro caso, dado que a utilização das habitações é feita maioritariamente no período noturno, assim como no início da manhã ou fim de tarde, devido à ocupação laboral ou estudantil dos moradores durante o dia, só será possível haver aproveitamento da energia solar produzida pelos painéis se houver uma bateria de armazenamento de energia elétrica.

No segundo caso, ao invés, a ocupação é maioritariamente diurna, pelo que a autoprodução de energia elétrica tem consumo direto para as instalações das frações.

No primeiro caso é aconselhável incluir na reabilitação uma bateria elétrica, sem a qual o investimento em painéis solares não tem retorno financeiro; no segundo caso, dispensa-se a inserção de bateria elétrica, elemento de elevado custo.

No exemplo acima apresentado, foi incluído na construção um sistema solar fotovoltaico com bateria de 3 módulos de 2,56 kW cada, como se pode ver na Figura 2.21 seguidamente apresentada.



Figura 2.21 - Construção com sistema solar fotovoltaico com bateria de 3 módulos

Este sistema foi calculado para suprir as necessidades anuais de energia elétrica da fração, sendo economicamente viável. Ao invés, verificou-se nesse estudo que se tivesse optado pela inclusão de isolamentos térmicos e de equipamentos standard, já não seria economicamente viável a compra deste tipo de equipamento, restando, em alternativa, a compra da energia elétrica à rede.

### **2.2.3 Contribuição dos sistemas solares passivos para a reabilitação energética**

Apesar das exigências crescentes no domínio da eficiência energética, o recurso a tecnologias solares passivas ainda não constitui uma prática corrente, destacando-se apenas as relativas aos ganhos solares diretos através das superfícies envidraçadas e as relacionadas com a orientação e forma do edifício previstas na fase de projeto. No entanto, existem outros sistemas solares passivos que podem ser integrados na envolvente, designadamente os de ganho isolado, como é o caso das estufas e os de ganho indireto, no caso da parede de Trombe (Figuras 2.22 e 2.23), que permitem otimizar o desempenho térmico da envolvente, maximizando os ganhos solares e, conseqüentemente, diminuindo o recurso a equipamentos de aquecimento do ambiente interior.



Figura 2.22 - Paredes de Trombe na Casa Shafer (Porto Santo)

Fonte - Costa, J. (2008).

No que respeita a intervenções de reabilitação, a adoção deste tipo de sistemas potencia as soluções construtivas que caracterizam a construção tradicional, nomeadamente a elevada inércia térmica e a capacidade de armazenamento dos materiais. Construções tradicionais que integrem na sua envolvente paredes espessas de terra ou pedra podem ser reabilitadas a nível energético recorrendo a um sistema de parede de Trombe.



Figura 2.23 - Exemplos de aplicação de paredes de Trombe: a) em adobe; b) em alvenaria de pedra irregular

Fonte: <http://altbuildblog.blogspot.com/2010/05/solar-house.html>.

Uma parede de Trombe clássica é constituída, do interior para o exterior, por uma parede acumuladora, composta por materiais com elevada capacidade de armazenamento de calor, uma caixa-de-ar e um vidro no exterior que permite a acumulação de calor decorrente do efeito de estufa criado entre estas duas camadas.

Este sistema deverá ser aplicado nas fachadas com orientação no quadrante Sul para permitir a maximização dos ganhos solares. A radiação solar absorvida pela superfície envidraçada é armazenada sobretudo na parede acumuladora e transmitida por radiação, convecção e condução através da parede acumuladora para o interior do compartimento.

A existência de aberturas de ventilação na parede acumuladora permite a transferência de calor por convecção do ar. A existência de aberturas de ventilação também no envidraçado permitirá potenciar o funcionamento do sistema durante a estação de arrefecimento, recorrendo à ventilação cruzada.

É ainda necessário prever dispositivos de sombreamento/oclusão no sentido de evitar situações de sobreaquecimento no verão e perdas de calor durante os períodos noturnos no inverno. O recurso a persianas exteriores, palas horizontais e verticais e ainda a vegetação de folha caduca é uma forma bastante simples e eficaz no controlo da radiação incidente e, conseqüentemente, dos ganhos solares.

Na Figura 2.24 apresenta-se, de forma esquemática, o funcionamento deste sistema durante os períodos noturnos e diurnos das estações de aquecimento e de arrefecimento.

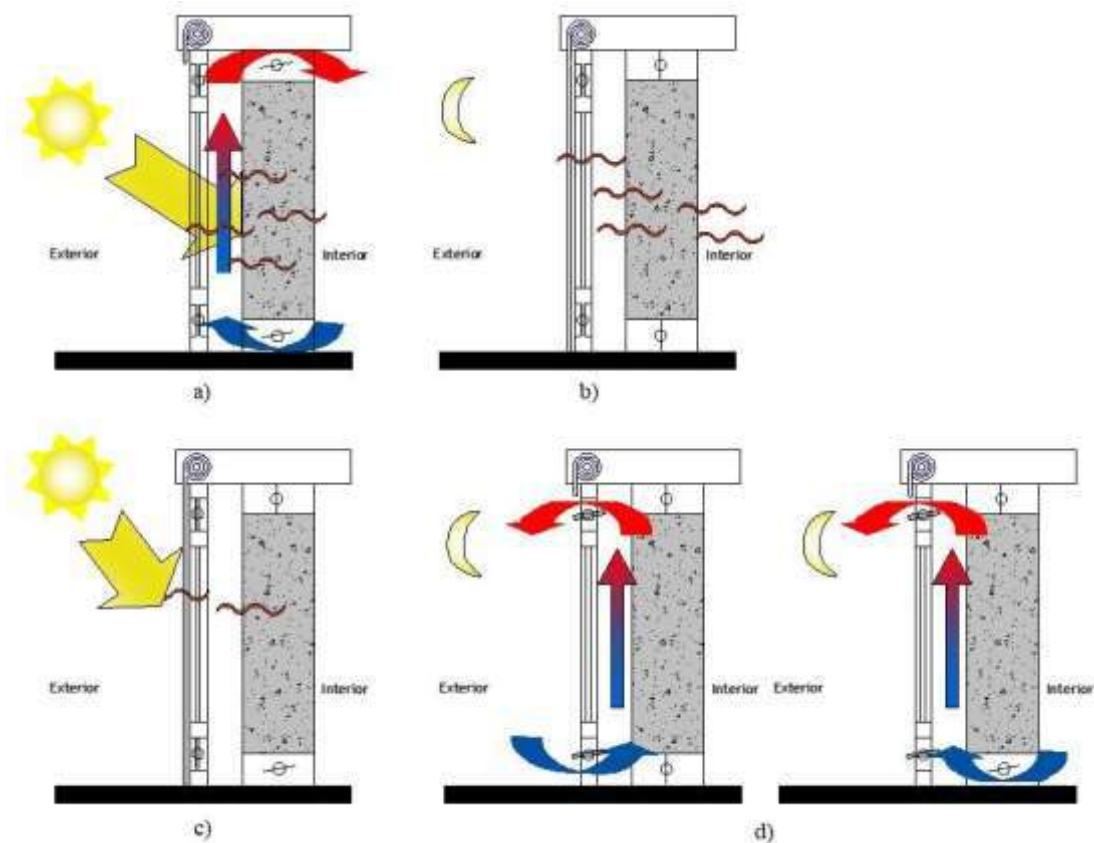


Figura 2.24 - Modo de funcionamento da Parede de Trombe: a) Inverno: período diurno; b) Inverno: período noturno; c) Verão: período diurno; d) Verão: período noturno

Fonte - Sá, A. (2019).

O correto funcionamento da parede de Trombe requer o seu dimensionamento logo na fase de conceção do edifício, quer se trate de edifícios novos ou da reabilitação de existentes, uma vez que as características materiais e dimensionais devem ser criteriosamente selecionadas e adaptadas à função que se pretende que desempenhem no edifício. O conhecimento da sua contribuição ao nível das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do edifício deverá constituir a base do seu dimensionamento, aquando da execução do projeto de comportamento térmico do edifício. Por exemplo, a opção de introduzir ou não orifícios de ventilação na parede acumuladora depende essencialmente dos períodos em que se necessita de calor no interior do edifício, dependendo, portanto, do tipo de utilização do edifício. Outras características que importa analisar dizem respeito à capacidade térmica do material da parede acumuladora e à sua espessura, ao tipo de vidro, aos dispositivos de oclusão e sombreamento, à espessura da caixa-de-ar e também às dimensões do próprio sistema relativamente à área do compartimento que serve. Assim sendo, a introdução da parede de Trombe como solução de reabilitação

energética deve ser otimizada e adaptada caso a caso, sendo necessário ter em conta os seguintes aspetos:

- Condições climáticas do local de implantação do edifício;
- Tipo de utilização do edifício (residencial ou de comércio e serviços);
- Área da parede de Trombe relativamente à área do compartimento que serve;
- Espessura e propriedades térmicas do material da parede acumuladora;
- Coeficiente de absorção da superfície exterior da parede acumuladora;
- Características térmicas do envidraçado;
- Espessura da caixa-de-ar;
- Funcionamento e características do sistema de ventilação (posição, número e dimensões das aberturas de ventilação);
- Existência de dispositivos de sombreamento e oclusão.

Diversos estudos têm sido desenvolvidos no sentido de analisar e otimizar o desempenho da parede de Trombe demonstrando que, para além das características dimensionais e materiais das diversas camadas que a constituem, o funcionamento do sistema de ventilação e dos dispositivos de sombreamento/occlusão apresentam um papel decisivo no seu desempenho térmico.

No entanto, para que o seu desempenho seja otimizado é essencial que a abertura/fecho destes sistemas se efetue em períodos que permitam obter a temperatura de conforto desejada no interior do compartimento, independentemente das diferentes condições climáticas ocorridas durante o ano. Para isso, mostra-se essencial prever um sistema de funcionamento autónomo da parede de Trombe.

A definição de um sistema de controlo e automação dos sistemas de ventilação e de sombreamento/occlusão permitirá o funcionamento e a otimização do desempenho térmico da parede de Trombe sem intervenção do utilizador. Estudos já desenvolvidos nesta temática revelam ser possível o controlo e a automação da parede de Trombe de forma fácil e económica através da instalação de sensores, computador de placa única para armazenamento de dados e definição de algoritmo de funcionamento (Sá, A. et al., 2021).

A instalação de sensores de intensidade de radiação solar e de temperatura são fundamentais para a identificação das condições climáticas exteriores, da flutuação de temperaturas ao longo das diferentes camadas da parede e da temperatura de conforto desejada para o interior do

edifício. O funcionamento deste sistema está totalmente dependente de um elemento que recolhe os valores obtidos pelos diferentes sensores e que executa ordens pré-programadas. Estão disponíveis no mercado diversos computadores de placa única, de custo acessível e caracterizados pela sua capacidade de multiusos ao nível da programação e controlo de sistemas, para além de possibilitar a sua utilização por programadores menos experientes.

É ainda possível optar por soluções com reduzido dispêndio de energia para o seu funcionamento, e que permitem que todo o sistema seja alimentado por painel solar fotovoltaico, tornando-se assim num sistema que recorre a energia renovável para o seu total funcionamento. A implementação de um leitor de cartão no sistema de placa única permite armazenar todos os dados recolhidos pelos sensores instalados na placa e analisar se os comandos emitidos estão a ser executados mediante as ordens pré-programadas ou não, nomeadamente no que diz respeito ao tempo de abertura e fecho dos orifícios de ventilação e dos dispositivos de sombreamento/occlusão, ficando assim registada a sua ativação.

Tendo como objetivo controlar e automatizar um sistema solar passivo, é conveniente que o consumo de energia por parte do sistema proposto seja o mais reduzido possível. A transmissão dos dados recolhidos pelos sensores instalados pode ser efetuada através de uma rede de longo alcance, como é o caso da LoRaWAN, sendo utilizado um aplicativo que permite controlar à distância a abertura e fecho das aberturas da parede acumuladora (ver Figura 2.25).



Figure 2.25 - Sistema de controlo e automação da parede de Trombe com transmissão de dados via LoRaWAN

Fonte - Mota, A., Briga-Sá, A., Valente, A. (2021).

Este tipo de soluções de monitorização, controlo e automação assume assim um papel fundamental na otimização do desempenho deste sistema solar passivo e na melhoria do

conforto interior do edifício. Assim sendo, a generalização da aplicação de soluções e tecnologias IoT nos edifícios novos e a reabilitar poderá contribuir de forma decisiva para a obtenção de edifícios mais inteligentes e energeticamente mais sustentáveis.

#### **2.2.4 Melhoria do conforto interior dos espaços úteis na reabilitação de edifícios**

A construção do edifício pretende assegurar o conforto dos seus utilizadores. Embora este seja o resultado combinado de um estado físico e psicológico, com toda a subjetividade que estes indicadores contemplam, existem diferentes componentes do conforto ambiental que é possível identificar. Apresentam-se, neste texto, algumas considerações sobre a melhoria do conforto térmico e da qualidade do ar interior dos espaços úteis de um edifício.

No caso específico do conforto térmico, este é o resultado do desempenho energético do edifício, estando, por isso, associado ao consumo de energia e à eficiência de isolamento térmico que contribui para a sua redução.

Convém sublinhar que existem três critérios regulamentares para enquadrar ou definir o conforto térmico e a qualidade de ar interior, inseridos no Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, para edifícios de habitação:

- 1) A habitação deve ser mantida a uma temperatura de 18 °C durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento;
- 2) A habitação deve ser mantida a uma temperatura de 25 °C durante 24 horas e durante toda a estação de arrefecimento;
- 3) A renovação do ar interior de uma habitação não pode ser inferior a 0,50 na estação de aquecimento nem inferior a 0,60 na estação de arrefecimento.

De referir que, para o concelho do Porto, consoante a altitude onde se situa o edifício, e que varia entre 0 e 155 metros, a duração da estação de aquecimento varia entre 6,0 e 6,3 meses e a temperatura média exterior de Inverno varia entre 9,5°C e 10,6°C; a duração da estação de arrefecimento é, em todos os pontos do concelho, de 4,0 meses e a temperatura média exterior de Verão de 20,9°C.

Estes dados significam que para a estação de aquecimento é sempre necessário instalar equipamentos de aquecimento enquanto para a estação de Verão, se a introdução de sistemas de ventilação interior, natural ou mecânica, e o seu dimensionamento forem eficientes, a ventilação interior será suficiente para arrefecer as habitações.

Deste modo, a forma de manter os espaços interiores climatizados na estação de aquecimento é de instalar equipamentos que tenham essa função.

A seguir apresenta-se a Tabela 2.6 onde se procura comparar as diferentes opções de aquecimento de uma habitação média, com 70 m<sup>2</sup> de área útil, para as duas opções de projeto acima referidas – projeto Standard e projeto NZEB, e apresentar o custo anual previsto para aquecimento.

Tabela 2.6 - Comparação de diferentes opções de aquecimento de uma habitação média

Equipamento para aquecimento	Critério proj. Standard			Critério proj. NZEB		
	Consumo anual (kW)	Custo do kW (IVA inc.) (€)	Custo anual (€)	Consumo anual (kW)	Custo do kW (IVA inc.) (€)	Custo anual (€)
Radiador eléct. fixo	3 000	0,20	590,40	1 500	0,20	295,20
Caldeira a gás	3 371	0,074	248,76	1 685	0,074	124,38
Bomba de calor	1 154	0,20	227,08	577	0,20	113,54
Recuperador de calor	4 000	0,062	246,00	2 000	0,062	123,00

A partir da análise dos custos médios anuais para aquecimento para cada tipo de equipamento deverá ser acrescido o custo de aquisição e montagem desse equipamento. A partir daí, e tendo em conta que um equipamento mais eficiente conduz sempre a um consumo mais baixo, logo a um custo anual mais baixo, ao calcular o rácio entre o custo a mais na aquisição de um equipamento mais eficiente e o valor anual da poupança em energia por utilização desse equipamento mais eficiente, obtém-se o período de retorno do investimento. O período de retorno indica o número de anos que leva a que a poupança acumulada em energia acabe por cobrir o investimento nesse equipamento.

Também se deverá ter em conta que equipamentos mais eficientes e que utilizem energias renováveis melhoram a classe energética da habitação.

A abordagem à melhoria do conforto térmico na estação de arrefecimento não deve ser feita tendo em conta a introdução de equipamentos de ar condicionado, já que tais aparelhos, além de consumirem energia elétrica, utilizam componentes que não são amigas do ambiente. Essa análise deve ser feita considerando o local da construção e sua orientação solar, principalmente no que diz respeito à orientação solar dos principais vãos envidraçados da habitação – salas e quartos.

Os vãos envidraçados são o local por onde se transmite a maioria da energia solar que vai aquecer os espaços interiores e, tendo em conta que se pretende que a habitação tenha bons isolamentos térmicos nas várias envolventes, depois da energia entrar dificilmente será devolvida ao exterior, a não ser que possua ventilação eficiente e, complementarmente, arrefecimento por ar condicionado.

No que diz respeito à reabilitação de edifícios, existem três aspetos que em período de arrefecimento agravam substancialmente o aquecimento dos espaços interiores por ganhos solares:

- a) A utilização de isolamento térmico pelo interior das paredes, pavimentos e coberturas das frações, o que conduz à forte diminuição da inércia térmica;
- b) A existência de vãos envidraçados com áreas elevadas, fruto da arquitetura pré-existente;
- c) A existência de proteções solares pela face interior dos vãos envidraçados, o que implica que a energia solar entra dentro da fração através das janelas formando uma caixa-de-ar quente entre o vidro e a proteção interior, energia essa que passa para o espaço interior por radiação.

Na tabela seguinte, retirada do Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho, demonstra-se o valor dos fatores solares de vãos envidraçados, tanto para vidros simples como para vidros duplos, ambos correntes, em função de um conjunto de proteções solares colocadas pelo lado exterior de um caixilho e os valores dos fatores solares para proteções colocadas pelo lado interior.

Como simples exemplo comparativo, o fator solar de um caixilho com vidro duplo corrente e persianas exteriores de cor clara é de 0,04 e o fator solar de um caixilho com vidro duplo e

portadas interiores opacas de cor clara é de 0,35. Tal significa que, no 1º caso, entra para o interior do espaço 4% da energia que incide no vão envidraçado, enquanto no 2º caso entra 35% da energia solar incidente no vão envidraçado, ou seja, mais 31% de energia solar que no 1º caso.

Tabela 2.7 - Valor dos fatores solares de vãos envidraçados

Tipo de Proteção		$g_{Tvc}$					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Proteções exteriores	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
	Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59
Cortinas opacas		0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
Cortinas ligeiramente transparentes		0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
Cortinas transparentes		0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
Cortinas muito transparentes		0,70	-	-	0,63	-	-
Portadas opacas		0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
Persianas		0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas		-	-	-	0,28	0,34	0,40

Por aqui se vê que a opção da escolha da proteção solar é bastante importante para o conforto interior na estação de arrefecimento, e que opções de proteções interiores normalmente conduzem ao sobreaquecimento do interior que só consegue ser arrefecido por ar condicionado, para manter a temperatura de conforto abaixo dos 25°C.

Quando é possível conjugar o arrefecimento do espaço interior com as necessidades de renovação de ar referidos anteriormente utilizam-se grelhas de ventilação para admissão de ar que garantem, juntamente com as extrações de casas de banho e cozinhas, a renovação de ar dos espaços úteis. Na estação de aquecimento, a renovação de ar deve ser próxima do valor mínimo regulamentar, para evitar perdas de energia por excesso de ventilação e, na estação de arrefecimento, é desejável uma maior taxa de renovação de ar para dissipar o excesso de calor motivado pelos ganhos solares.

As mencionadas grelhas de ventilação, a colocar na fachada, nos vãos envidraçados ou na caixa de estores, podem ser de dois tipos: ou reguláveis, com possibilidade de serem abertas e fechadas pelo morador, ou auto-reguláveis, que proporcionam ventilação permanente e impede que devido a um excesso de pressão do vento, um caudal exagerado penetre no interior dos espaços (ver Figura 2.26).



Figure 2.26 - Grelhas de ventilação reguláveis e auto-reguláveis

## 2.2.5 Sistema de controlo de energia na Reabilitação 4.0

### Edifícios Inteligentes – Redes Inteligentes (Inteligente = ligado + análise)

O significado de ligado é tipicamente refletido pela capacidade dos edifícios se comunicarem com outros edifícios, com a rede (por motivos de agendamento e redução de picos), com concessionárias, com unidades de armazenamento de energia (tanques de água para armazenamento de energia quente ou fria e baterias), com os ocupantes (através da potenciação do conforto através de controles de luz, ar, calor e refrigeração), com outros

dispositivos inteligentes (termostatos e sensores), e assim por diante. Em outras palavras, para a unidade ser inteligente, ela precisa estar ligada (por exemplo, um termostato precisa saber sobre o seu ambiente através de uma estação meteorológica externa ou padrões de uso doméstico de sensores). Por outro lado, ligado não significa necessariamente inteligente. Por exemplo, um sensor de movimento pode não ser inteligente, embora esteja ligado ao termostato, mas o termostato precisa estar ligado para implementar algoritmos de aprendizagem e previsão. O acesso remoto por si só não implica a inteligência dos dispositivos.

Os dispositivos IoT apresentam algoritmos inteligentes e o poder de processamento local está a aumentar. Eles trabalham de forma interativa e autônoma enquanto são ligados em redes sem fios com outros dispositivos ou conectados diretamente à Internet. Às vezes, simplesmente chamados, *coisas* (os *kits* de monitorização doméstica da Samsung são apropriadamente chamados *SmartThings*), essas *coisas* entram rapidamente no mundo dos consumidores.

Os sistemas de climatização e iluminação, os maiores consumidores de energia em edifícios, são altamente modernizados por meio da inclusão de dispositivos IoT. A questão-chave aqui é extrair conhecimento dessa monitorização dos sistemas de automação e energia de edifícios — em termos do que um determinado equipamento ou aparelho está a fazer e em que momento. Os dispositivos IoT fornecem medições quantitativas dos processos em que estão envolvidos, que no que lhe concerne geram fluxos de dados que não existiam antes. A necessidade de *big data*, portanto, surge para processar e analisar grandes quantidades de dados não estruturados e fazer previsões de comportamento futuro.

O conceito de aparelho inteligente é baseado em vários recursos: conveniência (por exemplo, controle remoto e monitorização via *smartphones* e *tablets*), automação e controlo inteligente (aprendizagem e previsão de padrões de comportamento do utilizador autónomo e posterior agendamento inteligente) e a capacidade para controlar e melhorar a eficiência energética. A conectividade é a característica subjacente dos dispositivos IoT, como máquinas de café, camas, fogões e frigoríficos.

Por exemplo, frigoríficos inteligentes com tela sensível ao toque *Wi-Fi* podem sincronizar os calendários familiares, realizar inventários inteligentes através de câmaras integradas que detetam as datas de validade dos alimentos, notificam os utilizadores dos alimentos que precisam comprar e até mesmo fazer pedidos automaticamente. Embora esses produtos da General Electric, Whirlpool, Lucky Goldstar, Nest, Samsung, Sleep Number e outros melhorem a qualidade de vida e a saúde pessoal, um dos principais benefícios é a eficiência energética,

economia de energia e de picos, iniciando com tarefas tão simples como o adiamento dos ciclos de descongelamento do frigorífico ou o adiamento das lavagens na máquina de lavar louça e roupa até ao horário fora de pico (Bigler, T. et al., 2011).

O céu é o limite quando se trata de eficiência energética e os dispositivos inteligentes de hoje. Janelas, portas e claraboias podem ganhar e perder calor por condução (coeficiente U) ou radiação (coeficiente de absorção solar). Janelas inteligentes, vidro inteligente ou vidro comutável usam a tecnologia chamada de dispositivos de partículas suspensas (SPDs), ajustando a tensão CA ao filme SPD para controlar rapidamente a quantidade de luz, brilho e calor que passa pelas janelas. As janelas Rayno usam a tecnologia de cristal líquido disperso em polímero, que combina polímeros e materiais de cristal líquido para controlar a transparência (Cupelli, D. et al., 2009).

Além do seu uso para eficiência energética, essas tecnologias podem ser usadas em edifícios inteligentes para privacidade instantânea, para eliminar a necessidade de cortinas, filtrar raios ultravioleta ou como superfície de projeção traseira para teatros ou expositores corporativos.

Vários fabricantes fornecem controlos de automação e eficiência energética. Empresas como a Lutron, a Honeywell e a Johnson Controls fornecem soluções de redes inteligentes comerciais, edifícios inteiros e soluções residenciais para eficiência energética.

O sistema de controlo de iluminação e gestão de energia Quantum da Lutron oferece “uma decisão inteligente para qualquer proprietário de edifício” como programação de luzes e controlo da abertura de persianas para economia de energia e também para o conforto, segurança e proteção dos ocupantes. As soluções Quantum e EcoSystem permitem a redução de uma percentagem da saída de iluminação de um edifício durante o pico de procura, economizando energia instantaneamente. As soluções também fornecem controlo, configuração, monitorização e relatórios sobre a iluminação de qualquer espaço num edifício para máxima eficiência energética, conforto e produtividade.

Um exemplo de tais conceitos é a chamada autonomia da luz do dia, um conceito sustentável impulsionado pela Lutron que se adapta ao seu ambiente e afirma reduzir o uso de energia de iluminação diurna em 65% ou mais através do uso de cortinas automatizadas. Projetar para a autonomia da luz do dia envolve entender como todo o edifício é afetado pela natureza dinâmica da luz do dia e criar uma estratégia de controlo de iluminação para se ajustar automaticamente a essas mudanças.

## **Os Edifícios e os Humanos**

Conforme referido anteriormente, elementos como conectividade e IA são essenciais para alcançar edifícios inteligentes e energeticamente eficientes e as cidades do futuro. No entanto, enquanto esses elementos desempenham um papel enorme na eficiência energética, outro aspecto importante dos edifícios é garantir o conforto dos ocupantes. Mesmo com os recentes avanços nos esquemas de controlo inteligente, tem sido demonstrado que uma parcela significativa dos ocupantes ainda está insatisfeita com o conforto proporcionado pelas condições térmicas do edifício.

Assim, é evidente que devem existir mecanismos para que os humanos interajam e deem *feedback* ao sistema de gestão do edifício. Os seres humanos no edifício podem ser divididos em duas categorias principais: 1) ocupantes ou utilizadores e 2) administradores do edifício.

O comportamento dos ocupantes desempenha um papel significativo no consumo de energia e nas emissões de gases de efeito estufa. O comportamento dos ocupantes é uma combinação de atividade e preferências humanas. Os ocupantes têm, assim, um enorme impacto na procura de energia de um edifício. Portanto, o elemento humano na perspetiva dos ocupantes deve ser considerado nas duas frentes a seguir para otimizar o uso de energia de uma edificação mantendo o conforto dos ocupantes: modelação da atividade dos ocupantes; permitindo *feedback* de conforto personalizado e mecanismos para incorporar de forma otimizada o *feedback* de conforto subjetivo.

Além dos ocupantes, do ponto de vista de um gestor de construção, os controles automatizados do edifício podem ser complementados com estratégias de controle semiautomáticas e humanas. Tais estratégias conseguem usar o conhecimento de um gestor de construção experiente para complementar os esquemas de controle inteligente em vigor.

## **Interação Humano-Construção para Conforto e Eficiência Energética**

Embora os algoritmos inteligentes orientados por dados possam fornecer controlo para aumentar a eficiência energética, equilibrar o desempenho com o conforto dos ocupantes envolve a aquisição de dados no nível da estação de trabalho individual. No entanto, os projetos atuais de sistemas de energia de edifícios carecem da implementação de sensores em locais de

trabalho individuais. Esses sistemas dependem da compreensão agregada ou de zona dos parâmetros para alcançar o conforto individual. O *feedback* individual dos ocupantes é extremamente importante para manter os níveis de conforto porque o conforto humano é subjetivo. Compreender com precisão o impacto nos indivíduos e variáveis como a radiação proveniente de janelas ou fluxo de ar inadequado é essencial, especialmente por esses fatores serem subjetivos. Assim, a indisponibilidade de informações altamente granular para todo o edifício pode fazer com que áreas de baixo conforto e baixa dissipação de energia passem despercebidas.

Para melhorar isso, é necessário um método de obtenção de *feedback* de conforto individual.

Portanto, devem existir métodos que permitam a comunicação direta entre os ocupantes e o sistema de gestão de energia do edifício (SGEE).

Metodologias de interação humano-computador devem ser incorporadas para fornecer *interfaces* intuitivas e de fácil acesso para que os ocupantes enviem o seu *feedback* de nível de conforto ao SGEE.

Embora automatizar o controlo predial seja crucial para alcançar a eficiência energética predial, é difícil ignorar o impacto que um gestor predial experiente pode causar na otimização e complementação do controle automatizado. Para isso ser possível, é imprescindível que haja uma *interface* adequada entre o gestor humano e o sistema de controlo. A *interface* deve conseguir fornecer ao gestor do edifício, fluxos de dados de diferentes sensores do edifício (o processamento de informações é uma tarefa essencial na automação) e informações sobre o sistema de controlo. Além disso, a *interface* deve conseguir fornecer ao gestor informações sobre as ações de controlo em tempo real.

### ***Deep Learning* na previsão de necessidades dos edifícios**

A previsão das necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de AQS num edifício a curto prazo são uma das muitas tarefas de gestão de energia nos edifícios, como a deteção e diagnóstico de falhas, a gestão do lado da procura e a otimização do controlo.

Os métodos convencionais, que dependem fortemente de princípios físicos, têm poder limitado na prática, pois o seu desempenho está sujeito a muitas suposições físicas. Por outro lado, os métodos orientados a dados, se disponíveis, ganharam grande interesse devido à sua

flexibilidade no desenvolvimento de modelos. O rápido desenvolvimento da ciência de dados fornece análises de dados avançadas para lidar com problemas de previsão de maneira mais conveniente, eficiente e eficaz.

Existe potencial na análise avançada de dados, ou seja, aprendizagem profunda (*Deep Learning*), na previsão de perfis de necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de AQS dos edifícios com 24 horas de antecedência. A aprendizagem profunda refere-se a uma coleção de algoritmos de aprendizagem máquina (*Machine Learning*) sendo poderosos e permitem revelar padrões não lineares e complexos em big data. A aprendizagem profunda pode ser usada de maneira supervisionada para desenvolver modelos de previsão com determinadas entradas e saídas (ou seja, necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de AQS) ou de maneira não supervisionada para extrair recursos significativos de dados brutos como entradas de modelo.

#### **Outros exemplos de intervenções no processo de reabilitação energética de um edifício**

- Diagnóstico de patologias/defeitos na construção automático e recorrendo a aplicações de telemóvel e algoritmos de *deep learning*;
- Inspeções energéticas com o recurso a *drones* e câmaras termográficas;
- Relatório automático de patologias;
- Integração do BIM no processo de gestão da reabilitação energética;
- Impressão 3D de materiais de isolamento no local ou pré-fabricação.

#### **Segurança e Resiliência de Edifícios Inteligentes**

Se os edifícios inteligentes são o futuro, então também o são as ameaças cibernéticas aos serviços de construção.

Por mais altamente integrados que todos os componentes estejam, tais sistemas correm riscos de alta exposição. O mesmo fluxo de informação que permite que os utilizadores e os gestores monitorizem e controlem os edifícios inteligentes, pode, se comprometido, dar aos invasores um poder sem precedentes para interagir com dispositivos e obter informações sobre padrões comportamentais. Por exemplo, a monitorização de sensores de ocupação pode dizer quando uma pessoa sai de casa, o controlo de câmaras pode fornecer meios para vigilância ilegal e invasão de privacidade e, pior, usurpar o poder de controlo pode remotamente permitir danos estruturais e materiais ou até mesmo perda de vidas (no caso de se atingirem infraestruturas

críticas). Além da potencial exploração de *software*, esses dispositivos sofrem de problemas de segurança de *hardware*. Através do acesso físico, um invasor pode obter acesso à *root*. Uma questão adicional é a legalidade do armazenamento de dados de IoT.

As soluções nesta área precisam considerar várias abordagens. Uma é aumentar a resiliência pela segmentação da rede de dispositivos conectados (limitando a exposição), com o uso de combinações fortes de utilizador/senha. Os sistemas hospedados na nuvem aliviam os clientes do fardo de proteger dados confidenciais e serviços da *web*.

Os serviços em nuvem devem incluir autenticação, multifator através de várias provas de identidade — algo que os utilizadores sabem, por uma senha; algo que eles possuem, como um telefone; e algo inerente a eles, como as impressões digitais. Além das melhores práticas de cibersegurança serem parte integrante da implantação de equipamentos e treino para gestores de edifícios, devem ser elaborados planos de contingência para os períodos em que não há inteligência disponível (conhecido como plano para o pior). Para manter níveis mínimos aceitáveis de serviço, *hardware* com cabos pode ser um custo necessário para a resiliência de sistemas de automação predial de missão crítica, mesmo com o custo de sacrificar a parte inteligente da automação.

Resiliência — a capacidade de um sistema se recuperar após falhas maliciosas ou benignas, ou, do ponto de vista de negócios, a capacidade de manter a continuidade das operações de negócios — pressupõe uma resposta inteligente que vai além da tolerância a falhas e está intrinsecamente ligada à segurança cibernética. As técnicas orientadas por dados, às vezes chamadas bioinspiradas, autocurativas e reconfiguráveis, representam um componente integral da resiliência. A interatividade e a interoperabilidade dos edifícios modernos, com os dispositivos IoT omnipresentes que geram grandes fluxos de dados, também trazem a mineração de dados bioinspirada e a análise de dados ao alcance da resiliência no domínio dos edifícios inteligentes.

### **2.3 Conclusões e Recomendações**

O sector da construção é um dos setores mais poluentes da União Europeia, com destaque para o elevado consumo de cimento Portland, responsável por elevadas emissões de dióxido de carbono e consumo de energia. É, ainda, responsável pelo consumo de muitos recursos naturais, água e energia e pela produção de uma grande quantidade de resíduos de construção e demolição, havendo ainda muito a fazer para se atingir a sustentabilidade no setor.

A melhoria da sustentabilidade no setor da construção consegue-se sobretudo com a poupança na utilização de recursos naturais e energéticos, com a construção de edifícios duráveis, adaptáveis, com materiais locais, de menor impacto ambiental e com grande potencialidade de reutilização, com o desenvolvimento de soluções construtivas que permitam a aplicação prática da economia circular, nomeadamente, da desconstrução e da reutilização e com a diminuição da produção de resíduos de construção e demolição. Procura-se, no entanto, que a qualidade, o conforto e a durabilidade das construções não sejam comprometidos.

Grande parte dos Resíduos de Construção e Demolição são recicláveis, embora a sua recuperação média na União Europeia seja ligeiramente inferior a 50%. Esta particularidade reclama a implementação de princípios de demolição seletiva e de gestão de RCD capazes de alavancar a transição para a economia circular, sendo a ordem hierárquica de atuação a seguinte: Prevenção; Reutilização; Reciclagem; Valorização e Eliminação.

Neste contexto, a desconstrução, é um novo conceito, que tem vindo a ganhar força à medida que a consciencialização ambiental vai sendo cada vez maior sendo caracterizada pelo desmantelamento cuidadoso de um edifício ou de uma construção, de modo a promover a reutilização, através da recuperação de materiais e componentes da construção bem como, a reciclagem, atuando sobre uma eficaz separação dos produtos e aos quais deve, preferencialmente, adicionar-lhes valor acrescentado. A desconstrução encerra em si muitos desafios para o futuro da construção que passam por investir no eco design, na execução de projetos de desconstrução, em projetos de execução que contemplem materiais e tecnologias sustentáveis, na normalização da forma e das dimensões das componentes de construção, na catalogação dos materiais para facilitar o mercado dos materiais reutilizáveis; na criação de mercados de produtos usados, no conhecimento e sensibilização dos principais intervenientes, como os donos de obra, projetistas e empreiteiros para a desconstrução e na preparação das empresas para legislação cada vez mais restritiva em termos ambientais.

A reabilitação é um procedimento, por si só, muito sustentável quando comparado com a construção nova. Com efeito, relativamente a uma construção de raiz é necessária menor extração de matérias-primas, menor produção de materiais de construção e de elementos estruturais e menor necessidade de transporte de materiais. A perturbação causada na envolvente bem como os riscos envolvidos para pessoas e bens também são mais reduzidos. Poderão ser feitas modificações em partes da estrutura ou removidos revestimentos ou outros componentes, mas sem que haja grandes obras de demolição.

A avaliação da sustentabilidade de uma determinada solução construtiva é fundamental para a adoção da solução ambientalmente mais adequada e, uma das formas de o fazer pode passar pela Análise do Ciclo de Vida (ACV). Através da ACV é possível avaliar e quantificar os impactos ambientais gerados ao longo do ciclo de vida das soluções implementadas quantificando as emissões para o ar, para a água e para o solo relativamente a cada estágio de ciclo de vida e permitindo, ainda, efetuar análises comparativas de impactos entre dois ou mais produtos, processos, serviços ou soluções.

O conceito “4.0” pode ser muito relevante na sustentabilidade da reabilitação do edificado e, atendendo aos objetivos europeus de concluir com êxito a transformação digital da Europa até 2030, essa transformação dar-se-á muito em breve. A utilização de tecnologias digitais na indústria da reabilitação que permitem a integração dos projetos das várias especialidades, a sensorização, monitorização e a recolha de uma quantidade grande de dados relativos a parâmetros relevantes para o bom funcionamento das estruturas e dos edifícios permitirão automatizar tarefas quer ao nível da sua construção quer a nível do seu funcionamento. Para além disso, os usos de comunicações sem fios permitem introduzir muita tecnologia e automação em edifícios a reabilitar de uma forma não intrusiva. Assim, o avanço da tecnologia associada à Reabilitação 4.0 trará mais qualidade ao produto final, melhoria da produtividade, monitorização contínua do consumo de energia e de parâmetros relevantes para o funcionamento adequado do edificado bem como, ambientes de trabalho mais seguros e trabalho fisicamente menos intenso, ajudando as empresas a agirem de forma sustentável ambiental, social e economicamente.

No que respeita concretamente aos edifícios, eles vão continuar a sua evolução para se tornarem “mecanismos cibernéticos vivos que respiram”. Este é o começo da transição para o conceito de edifícios vivos, sendo necessário continuar a promoção e a defesa da sustentabilidade no ambiente da reabilitação da construção. Os edifícios NZEB irão tornar-se mais comuns com os avanços nas tecnologias renováveis e de armazenamento distribuído, como novas baterias. No futuro, os edifícios com excesso de energia poderão comprar e vender essa energia à rede ou a outros edifícios.

O conceito de edifícios vivos provavelmente aprofundará a analogia com os seres humanos. Assim como o corpo humano que transpira para libertar o excesso de calor, os edifícios podem usar sistemas de telhados evaporativos. Da mesma forma, à medida que os vasos sanguíneos se contraem ou dilatam para preservar ou liberar calor, os edifícios usarão sistemas inteligentes de isolamento e janelas, e sombreamentos inteligentes.

Assim sendo, no que concerne à eficiência energética como um dos aspetos mais importantes das futuras cidades inteligentes, abordagens com a utilização de modelos de *deep learning* foram identificadas como adequadas para reduzir consumos de energia.

Simultaneamente, espera-se que as técnicas de Inteligência Artificial sejam cada vez mais utilizadas nos edifícios do futuro. Desde a automação, aprendizagem e previsão de padrões comportamentais dos ocupantes até ao processamento da *big data* gerado por edifícios e redes inteligentes, as técnicas de Inteligência Artificial já foram estabelecidas como uma necessidade para a execução autónoma de rotinas em nome dos utilizadores.

## **Recomendações**

O objetivo principal do tema “Eficiência Energética e Conforto Interior dos Edifícios” consiste na disseminação de orientações básicas a introduzir na reabilitação de edifícios. De forma a torná-los energeticamente eficientes e confortáveis no seu uso.

Conforme demonstrado neste capítulo, a primeira abordagem deverá procurar otimizar a envolvente do edifício a reabilitar, o que se consegue da seguinte forma:

- a) Introdução de isolamentos térmicos muito eficientes nas envolventes – mínimo de 6cm em isolamento de fachadas e mínimo de 8 cm em isolamento de coberturas planas, coberturas inclinadas onde haja utilização do desvão para habitação permanente ou de lajes em esteira onde não haja utilização do desvão;
- b) Introdução de janelas muito eficientes com vidro duplo, sendo o material de fabrico da janela – madeira, alumínio com corte térmico ou PVC – uma opção do projeto;
- c) Introdução de proteções solares nos vãos envidraçados, preferencialmente exteriores – uma proteção solar exterior de cor clara apenas permite a entrada de 4% da energia incidente, enquanto um blackout permite a entrada de 37% da energia incidente no vidro; com proteção exterior, é usual a utilização de um vidro duplo corrente, com cortinas interiores torna-se indispensável a utilização de um vidro atérmico para impedir o excesso de entrada de energia na estação de Verão. Convém saber que a utilização de um vidro atérmico vai prejudicar a entrada de energia solar na estação de Inverno, obrigando ao aumento do consumo de energia de aquecimento;

d) Como consequência da introdução de janelas muito eficientes com baixa permeabilidade ao vento, será necessário prever uma ou mais entradas de ar, as quais, conjugadas com as extrações naturais ou mecânicas, permitam uma renovação do ar interior mínima de 0,50 renovações, por hora, na estação de Inverno e de 0,60 renovações, por hora, na estação de Verão.

Só após a introdução de sistemas passivos de isolamento térmico se deve prever a introdução de equipamentos para garantir o conforto através do aquecimento e arrefecimento ambiente e do aquecimento de águas sanitárias. De referir que, devido à opção anteriormente tomada de isolar a envolvente de forma eficiente, as potências dos equipamentos a instalar serão forçosamente mais baixas do que as potências necessárias para a mesma situação caso não houvesse essa opção.

A segunda abordagem será de optar, em primeiro lugar, por equipamentos que utilizam energias renováveis, os quais podem ser encontrados no mercado com variados preços nas seguintes áreas:

a) Aquecimento de águas sanitárias:

i. Coletores solares térmicos – aproveitam 100% da energia captada para aquecer as águas sanitárias; possuem um consumo de energia elétrica mínimo caso sejam de circulação forçada ou mesmo nenhum consumo de energia se forem do tipo termossifão;

ii. Salamandras, recuperadores de calor ou caldeiras a biomassa – também aproveitam 100% de energia renovável, são mais fáceis de utilizar no Inverno quando conjugadas com aquecimento central ou local e menos práticas no Verão;

iii. Bombas de calor ar-água – retiram a energia do ambiente para aquecer a água numa proporção média de duas partes de energias renovável e uma parte de energia elétrica consumida por cada três partes de energia produzida; podem ser utilizadas apenas para AQS (equipamentos mais económicos) ou também para aquecimento ambiente (por piso radiante) e ainda para aquecimento e arrefecimento ambiente (através de ventilo-convectores).

b) Aquecimento ambiente:

i. Salamandras, recuperadores de calor ou caldeiras a biomassa – como referido anteriormente, podem ser complementadas na sua utilização com a produção de energia para AQS;

ii. Bombas de calor ar-água – como referido anteriormente, podem ser complementadas na sua utilização com a produção de energia para AQS; podem ser utilizadas apenas para AQS (equipamentos mais económicos) ou também para aquecimento ambiente (por piso radiante) e ainda para aquecimento e arrefecimento ambiente.

c) Aquecimento e arrefecimento ambiente:

i. Sistemas de ar condicionado do tipo split ou multisplit (bomba de calor ar-ar), para aquecimento e arrefecimento ambiente – mais eficientes que as bombas de calor ar-água, já que extraem no mínimo três partes de energia do ambiente consumindo apenas uma parte de energia elétrica.

Na terceira e última abordagem será de considerar um investimento na auto-produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos. Nesse sentido, deverá ser feito um cálculo térmico para prever as necessidades médias de energia anuais para os equipamentos acima referidos que consomem energia elétrica, apenas no período diurno, devido à incidência solar.

A opção por qualquer dos equipamentos acima descritos varia consoante o tipo de edifício a reabilitar, a sua orientação solar, o seu uso e, muito principalmente, a capacidade de investimento do promotor. A conjugação equilibrada de todos estes sistemas construtivos e sistemas técnicos poderá conduzir à classe energética A+ e à concretização de um edifício de elevada eficiência energética e de elevado conforto interior.

## **CAPÍTULO 3 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO AVANÇADOS**

### **3.1 Materiais tradicionais e não tradicionais aplicados na reabilitação**

#### **3.1.1 Materiais tradicionais**

Os processos de conservação e reabilitação do edificado anteriores aos anos 50 têm como base a utilização de materiais tradicionais, que em muitos casos ainda se encontram em bom estado. Neste contexto é relevante identificar estes materiais e as suas características, de forma a garantir a sua conservação e também a utilização de materiais compatíveis, quando necessário. Os materiais tradicionais são de origem natural, muitas vezes local, embora alguns já tenham processos industriais associados, como é o caso da cal e do azulejo. Assim, neste ponto serão abordados os materiais tradicionais mais relevantes utilizados em Portugal, designadamente a Pedra, a Madeira, a Cal, o Gesso, a Terra, a Cerâmica, o Vidro, o Aço/Ferro e o Cobre/Zinco.

#### **Pedra**

Como elemento base de construção, utilizado em edifícios de todo o espectro, abarcando a casa rural e a casa senhorial, a capela e a catedral, a pedra é um elemento construtivo primordial que permitiu que se erigissem paredes com função estrutural, elemento chave no âmbito da edificação. A pedra é o material mais frequentemente utilizado em casas com tipologias distintas, desde a casa bloco, térrea e de andar, típicas do meio rural do norte do país até à casa urbana.

Tanto existe uma diversidade de materiais (rochas) ao longo do país (continente e ilhas) como o tipo de parede tem alguma variedade na sua composição, tendo em conta diferentes épocas e/ou técnicas de construção empregues.

Assim, de sul a norte do país, passamos de uma zona onde predominam o calcário, o mármore e arenitos para o centro e norte graníticos (Figura 3.1), com algumas zonas onde é também evidente a profusão de xisto. Nas ilhas, os materiais vulcânicos são amplamente utilizados nos Açores e na Madeira, onde predominam basaltos e traquitos, com amplo uso na construção. Relevante para a utilização no edificado, o calcário existe também na ilha de Santa Maria (Açores).



Figura 3.1 - Alvenaria de granito (cantaria)

## **Madeira**

Sendo a madeira um material transversal à construção tradicional de norte a sul do país, serão abordadas neste capítulo as principais aplicações da madeira em edifícios tradicionais.

Em Portugal, no âmbito do edificado era corrente a utilização de madeira nacional como o pinho, carvalho, castanho, eucalipto e criptoméria (Açores). Tendo em conta a sua versatilidade, a madeira servia como elemento estrutural, mas também como elemento de formação de divisórias e de acabamento. Não sendo as construções totalmente efetuadas em madeira um elemento característico do país, em algumas regiões do litoral ou em zonas ribeirinhas, a construção de casas em madeira, por vezes sobre estacas, foi utilizada principalmente por pescadores.

Como elemento estrutural a madeira serviu de material primordial para a estrutura de pisos (Figura 3.2) e de coberturas, constituindo asnas com diferentes configurações e com elementos mais ou menos toscos, consoante a época de construção e o tipo de edifício.

A utilização da madeira englobou o uso extensivo de rodapés e por vezes de lambris, a execução de escadas em segmentos de reta ou em caracol, o capeamento de elementos, a montagem de soalho e outros revestimentos de pavimento, entre outros. Neste contexto, as janelas em madeira foram utilizadas de forma extensiva. Regra geral, eram executadas com caixilhos preparados para a inserção de vidro simples. Assim, os elementos que a constituem, muitas

vezes em casquinha, apresentam dimensões adaptadas a esta finalidade. Para além de janelas com 2 batentes era comum a adoção de soluções de janelas de guilhotina. Portas e janelas tinham por vezes um pendão decorativo e com frequência eram empregues soluções com bandeiras.



Figura 3.2 - Pavimento em madeira

## Cal

Produzida e utilizada desde a antiguidade, a cal aérea foi um dos materiais mais empregues no âmbito da construção, tendo em conta as suas propriedades ligantes e de melhoria da salubridade urbana. Com uma diversidade ao nível da composição e consequentes características, no século XIX, Augusto Leitão classifica as cals como gorda, magra e hidráulica (fracamente hidráulica, medianamente hidráulica, hidráulica, eminentemente hidráulica e limite), fazendo depender o grau de hidraulicidade do tempo de presa e da dureza atingida. Atualmente, esta distinção é válida, sendo as designações cal aérea e cal hidráulica normalizadas na Europa.

Em Portugal esta classificação encontra-se na “NP EN 459-1:2011 Cal de construção Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade” (IPQ, 2001). Em Portugal, a cal aérea era tradicionalmente produzida a partir do calcário calcítico e, em algumas zonas, dolomítico gerando respetivamente cal cálcica (CL) e cal dolomítica (DL).

A cal viva apresenta-se em pedra, forma mais corrente, ou em pó (cal micronizada), obtido após processo de moagem da cal em pedra. Esta cal é altamente reativa e é apagada através da sua

imersão em água, transformando-se em hidróxido de cálcio, ao qual denominamos cal apagada ou cal hidratada. Usualmente o processo de apagamento da cal contempla a sua aspersão com água numa quantidade suficiente para a transformação da cal viva em cal em pó, ou numa quantidade mais significativa que transforme a cal viva em cal em pasta. É um processo exotérmico que gera uma temperatura entre os 90°C e os 130°C. Sendo atualmente preponderante o uso da cal em pó, de produção industrial, é indubitável o papel significativo que teve na antiguidade a cal em pasta, mantida anos e anos debaixo de água, melhorando assim as suas propriedades. É contudo possível adquirir cal em pasta com diferentes idades de maturação, no mercado nacional e internacional.

A utilização da cal é vasta em termos de argamassas de assentamento e de revestimento (Figura 3.3), quer interior, quer exterior, mas também de pintura utilizando ou não cor (caiação, fresco, entre outros).



Figura 3.3 - Revestimento interior com cal aérea

A utilização de cal aérea - CL ou DL - ou cal hidráulica natural – NHL2, NHL 3,5 ou NHL5 – é possível em Portugal, através de diversos fornecedores. Pode-se comprar cal aérea hidratada em pó, mas também em pasta. As argamassas de cal feitas em obra variam usualmente entre os traços de 1:2 a 1:3 em volume, requerem pouca água e podem recorrer a agregados locais. É fundamental ter mão-de-obra qualificada para aplicação de argamassas de cal.

## Gesso

Sendo o gesso um ligante, distingue-se do uso da cal pelo facto de, em Portugal, ser predominantemente empregue no interior dos espaços edificados, revestindo tetos e paredes. Este revestimento tomou várias formas, sendo frequente um elemento ornamental em zonas pontuais ou o recobrimento total de paredes e/ou tetos (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Teto estucado

Sendo inegável a influência árabe na utilização do estuque na Península Ibérica, em Portugal o uso desta técnica teve particular relevância a partir do Século XVIII, com o surgimento do estilo Barroco e da sua faceta profusamente decorativa e perdurou no século XIX e no século XX, tanto nas casas burguesas como em edifícios relevantes. Nesta altura, na zona norte do país, formaram-se estucadores afamados como as famílias Meira e Baganha, que desenvolveram trabalhos de elevada qualidade por todo o País.

O gesso é um material natural, cuja composição principal é o sulfato de cálcio. A sujeição deste material a cozedura com várias gamas de temperatura produz produtos distintos: hemihidrato (cerca de 140°C), anidrite II e anidrite III. A hidratação destes produtos resulta na formação de sulfato de cálcio dihidratado ou hemihidrato, no caso específico da anidrite. É comum a aplicação de hemihidrato como ligante em argamassas para o revestimento interior de edifícios, mas existem casos de aplicação de anidrite II, gerando produtos com características particulares. O gesso, sob a forma de hemihidrato, é empregue em estuques, podendo ser misturado com cal aérea e areia fina ou pó de pedra, em proporções diversas.

É possível comprar massas de estucar manuais, com base em gesso, com indicações específicas para obras de reabilitação. O mercado também tem disponíveis placas de estafe para aplicação direta em tetos, assim como gessos tradicionais para esboço, estuque ou moldura.

## **Terra**

A utilização da terra com fins construtivos está intimamente ligada à disponibilidade local. Sendo a terra um material com diversidade composicional, esta diversidade é espelhada nas construções que dependem dos materiais existentes no seu entorno. Desta forma, é fundamental efetuar a sua caracterização para aferir a gama de utilização e a eventual necessidade de juntar estabilizadores ou outros materiais de forma a modificar as suas propriedades.

O uso da terra como material de construção compreende uma elevada versatilidade, sendo aplicável em várias técnicas construtivas para a execução de paredes (Figura 3.5). Embora as técnicas de construção em terra estejam muitas vezes associadas à arquitetura vernácula, é indubitável a sua utilização lata por diversos tipos de edifícios, englobando muralhas, estruturas monumentais e edifícios urbanos e rurais. De entre os vários tipos de construção em terra, destacam-se as paredes executadas com blocos de adobe, em taipa ou paredes de tabique, todas elas com ampla utilização em Portugal.

A nível territorial, verifica-se uma predominância da utilização da técnica de construção em taipa a sul, no Alentejo e Algarve, enquanto a construção em adobe tem sido maioritariamente identificada na zona litoral centro, entre a Murtosa e Mira, mas com expressão pontual noutras localizações, tais como no nordeste transmontano, na zona de Leiria/Tomar ou no Algarve. O tabique é um sistema construtivo utilizado na generalidade do continente e ilhas, usualmente como divisória interior, mas também como elemento de parede exterior.



Figura 3.5 - Argamassa de junta em terra

Atualmente, o mercado nacional já oferece possibilidade de compra de materiais com base em terra, principalmente no campo dos revestimentos (rebocos). Estes materiais usualmente seguem características reguladas por normas DIN (18942, 18947) e permitem uma variedade de colorações e texturas. No âmbito da reabilitação do património é desejável manter as paredes de taipa e adobe, sendo também possível (re)utilizar adobe proveniente de edifícios que foram demolidos e colmatar lacunas em paredes de taipa utilizando terras locais.

### **Cerâmica**

A produção de cerâmica é condicionada pelas matérias-primas existentes em cada local; neste contexto é evidente a variação da tipologia produtiva, uma vez que cada local possui as suas características geológicas e, assim, diferenciação de matérias-primas. É de realçar, que as olarias se caracterizavam pela produção de cerâmica com a utilização de argila como matéria-prima. Para pavimentos, revestimentos ou louças sanitárias as matérias-primas cerâmicas mais utilizadas foram a argila comum, a areia, o caulino, o feldspato e o calcário. A zona norte de Portugal destaca-se por um maior volume de produção devido à sua abundância de matérias-primas cerâmicas, principalmente no litoral do país. Assim, Porto, Aveiro e Viana do Castelo, revelaram-se com melhores condições de produção pela sua localização. Entre o século XVII e XIX, produziram-se azulejos caracterizados pela execução de lastras que eram cortadas nos

formatos pretendidos, seguindo-se o processo de cozedura e, posteriormente, a vidragem. A decoração era realizada de forma manual, com pincel, surgindo no século XIX a produção de peças seriadas e a técnica da estampilha. Com origens que remontam ao mundo árabe, o azulejo foi primordialmente empregue em Portugal como revestimento interior. Este revestimento, maioritariamente decorado nos tons de azul e branco expressava padrões geométricos e, durante certas épocas, retratava peças figurativas. Muito utilizado no interior das igrejas até ao século XVII partiu para o revestimento massivo de fachadas de edifícios correntes já no século XIX, tradição que perdurou até ao início do século XX (Figura 3.6). No âmbito da arquitetura modernista verifica-se uma utilização menor deste material, que ocupa um lugar menos relevante como revestimento exterior a partir de meados do século XX.



Figura 3.6 - Azulejo de revestimento de fachada

No século XVIII, em Aveiro registou-se uma vasta atividade de produção de materiais para a construção civil, nomeadamente tijolos, ladrilhos e telhas. Publicações como os fascículos relativos a “Instalações Sanitárias” da Enciclopédia Prática de Construção Civil de F. Pereira da Costa, publicada nos anos 30 do século XX, referem vários materiais utilizados, como os tubos de grés e as louças sanitárias em grés e faiança de pó de pedra. Também os autoclismos eram fabricados em grés cerâmico e porcelana. No fascículo relativo a “Alvenarias”, menciona-se a utilização de tijolo, mas como material secundário face à pedra. É durante o século XX que, paulatinamente, o tijolo se impõe como material preponderante em alvenarias de paredes simples e duplas, incorporando também mais tarde neste mesmo século, o uso de isolamento térmico.

Atualmente, a Lei n.º 79/2017, de 18 de agosto, proíbe a remoção de azulejo de fachada ou a demolição de fachadas com azulejo para todos os casos de azulejos com relevância patrimonial. Assim sendo, é fundamental recorrer a azulejos antigos e/ou réplicas quando a primeira opção não for possível. Por exemplo, no caso da Câmara Municipal do Porto, o Banco de Materiais fornece um serviço de apoio para reposição de azulejos antigos. Também se verificou um aumento da possibilidade de utilização de réplicas, com base numa oferta diversificada. Há que ter atenção à colocação de azulejos antigos, que deve ser efetuada com argamassas de assentamento compatíveis à base de cal.

## **Vidro**

Considera-se que a utilização do vidro na construção teve a sua origem durante o Império Romano. A sua evolução contou com uma utilização em igrejas góticas e em palácios e casas nobres, antes de se tornar massiva com a revolução industrial, sendo já comum como elemento construtivo generalizado, no século XIX, em Portugal.

O uso do vidro transitou para o século XX, com elevada aplicação na arquitetura modernista e tem sofrido uma considerável evolução que permitiu a sua aplicação em grandes superfícies e também com características de suporte, na arquitetura contemporânea.

Na atualidade o vidro pode ser utilizado em variadíssimas funções, na medida em que os progressos tecnológicos na fabricação permitiram melhorar as suas propriedades, nomeadamente em termos térmicos e acústicos.

As exigências atuais em termos de comportamento térmico e acústico influenciam também a parte opaca dos envidraçados. Como a maioria dos caixilhos antigos não suporta envidraçados duplos, é possível recorrer a outras soluções, como por exemplo a colocação de um envidraçado adicional pelo interior.

## **Aço/Ferro**

O ferro e posteriormente o aço foram utilizados para a execução de estruturas ou elementos destas, guardas e grades de portas e janelas, caixilharias exteriores e divisórias interiores associadas ao vidro. Esta utilização é mais comum em ambiente industrial, sendo pontualmente utilizados nas habitações. São também utilizados para tubagens de abastecimento e drenagens

de água, bem como para a execução de elementos de aquecimento, grelhas de ventilação e tubagem para sistemas de radiadores.

Devido às suas boas propriedades mecânicas é um material muito versátil permitindo a execução de elementos esbeltos. Assim, são materiais que desde sempre foram utilizados como elemento de reparação e reforço de construções em pedra e madeira.

Primeiramente havia um aproveitamento muito racional dos materiais dado os custos consideráveis de mão-de-obra. Mais recentemente, em resultados dos avanços mecânicos e tecnológicos, os elementos são mais simples de montar recorrendo a secções maiores.

O aço e ferro são também utilizados para a execução de ligações em estruturas de madeira e ferragens para caixilharias.

São materiais que requerem manutenção e tratamento regular para evitar problemas de corrosão. São normalmente reabilitáveis com tratamentos como a decapagem, metalização e pintura. Em caso de demolição podem facilmente ser reciclados.

### **Cobre/zinco**

A vedação de telhados em trabalhos de reabilitação é fundamental tendo em conta que a infiltração da água da chuva para o interior dos edifícios é uma das causas principais das patologias que ocorrem neste tipo de construção e que potenciam uma acelerada degradação da obra. A aplicação de rufos, de caleiras e de tubos de queda fazem parte desse processo de vedação de telhados. Neste contexto, uma opção que tem vindo a ganhar terreno em trabalhos de reabilitação consiste na opção dos materiais cobre e zinco na execução dos referidos elementos construtivos. Trata-se de materiais metálicos nobres, com grande durabilidade, impermeáveis e cujo respetivo envelhecimento tende a dar-lhes uma beleza acrescida.

No que diz respeito à aplicação do cobre em sistemas de drenagem de águas pluviais de telhados, mostra-se na Figura 3.7 um edifício reabilitado em que as caleiras e os tubos de queda são em cobre. Neste caso específico, estes elementos foram reutilizados.



Figura 3.7 - Aplicação de cobre em sistemas de drenagem de águas pluviais em coberturas

Por sua vez, a aplicação do zinco nos sistemas de revestimento e de vedação de telhados também é uma boa prática construtiva em trabalhos de reabilitação de edifícios. Os edifícios expostos na Figura 3.8, são um bom exemplo deste facto. No caso do edifício da Figura 3.8 a), o revestimento exterior da cobertura e os rufos foram construídos com zinco. No caso do edifício 3.8 b), optou-se por se construir as caleiras e os tubos de queda em zinco. Em ambos os casos, o zinco compatibiliza-se adequadamente com o antigo.



a) Exemplo a



b) Exemplo b

Figura 3.8 - Exemplos de aplicação de zinco

A aplicação do zinco em sistemas de vedação de telhados ainda se torna mais expressiva tendo em conta que também é uma opção construtiva muito frequente em trabalhos de reabilitação de património religioso e em que o valor histórico, cultural e social é imensurável. Para ilustrar esta opção, mostram-se nas Figuras 3.9 e 3.10 alguns exemplos desta realidade, assim como alguns detalhes construtivos do respetivo sistema de vedação.



a) Exemplo 1



b) Exemplo 2

Figura 3.9 - Exemplos de aplicação de zinco em património religioso



a) Exemplo 1



b) Exemplo 2

Figura 3.10 - Exemplos de detalhes construtivos da aplicação de zinco em património religioso

### **3.1.2 Materiais não tradicionais**

Com o desenvolvimento de novos materiais durante o século passado, também estes foram sendo introduzidos nos processos de conservação e reabilitação do património edificado. Em alguns casos, essa utilização foi massificada devido às suas melhores propriedades quando comparados com os materiais tradicionais. Porém, num grande número de situações o desenvolvimento e aplicação dos materiais não tradicionais não considerou os critérios atuais de intervenção em património histórico, originando problemas de durabilidade em diversas situações. Os materiais não tradicionais foram sendo desenvolvidos no seio do setor da construção, contudo muitos outros foram adotados de outros setores, como a Engenharia de Polímeros e as Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial.

Assim, neste ponto serão abordados os materiais não tradicionais mais relevantes utilizados em Portugal, designadamente o Cimento de Portland, os Ligantes orgânicos, as Fibras sintéticas, os Plásticos, o Gesso cartonado, as Tintas e o Alumínio.

#### **Cimento de Portland**

O cimento de Portland é atualmente o ligante mais utilizado na construção, através da sua incorporação em betões e argamassas. Foi patenteado em 1824 por Joseph Aspdin, onde a transformação do resultado da queima de pedras calcárias e argila num pó fino tinha a capacidade de reagir com água e formar um material duro como pedra após secagem. Desde então, o processo de produção sofreu diversas evoluções levando ao que conhecemos como cimentos modernos. Atualmente, a produção de cimento de Portland é regulada pela norma NP EN 197-1.

De uma forma resumida, o processo de produção moderno inicia-se com a extração, britagem e moagem das matérias-primas num pó fino, seguindo-se a sua mistura devidamente proporcionada (via seca ou húmida). As matérias-primas incluem pedra calcária (carbonato de cálcio) e argila/xisto argiloso (silicatos de alumínio), ou margas/calcários margosos, cujas misturas podem ser corrigidas com a adição de outros materiais. Seguidamente, a mistura é calcinada à temperatura de 1450°C em grandes fornos rotativos. Deste processo resulta o clínquer, que após arrefecido é finamente moído e misturado com gesso. Note-se que a adição de outros materiais em diferentes proporções na produção do cimento de Portland origina cimentos com outras designações.

O cimento é principalmente utilizado na reabilitação de construções executadas com materiais mais correntes, como betão e alvenaria de tijolo cozido ou blocos de betão, cuja preponderância em Portugal é usualmente posterior. Neste caso, pode ser incorporado em betões de reparação, argamassas de junta/assentamento, argamassas de reboco ou caldas de injeção.

Por outro lado, a utilização de cimento na reabilitação de construções antigas de alvenaria ou de terra é tida geralmente como incompatível, podendo mesmo originar diversos problemas de durabilidade. Contudo, a sua incorporação em baixas percentagens em materiais de consolidação, tais como caldas de injeção, é geralmente admissível, já que proporciona um endurecimento mais rápido sem introduzir problemas de compatibilidade relevantes.

### **Ligantes orgânicos**

Os ligantes orgânicos resultam de sistemas poliméricos e podem ser aplicados puros, pigmentados ou com incorporação de agregados inorgânicos finos. Existem diversos polímeros que podem ser usados como ligante, nomeadamente resinas epoxídicas, de poliuretano, metacrílicas ou de poliéster. Na reabilitação, estes ligantes são muitas vezes utilizados na reparação de fissuras muito finas em elementos de betão ou pedra, uma vez que estes possibilitam misturas com elevada fluidez, sem a necessidade de incorporarem agregados, e apresentam elevada resistência de adesão.

As resinas epoxídicas são também utilizadas no reforço com materiais compósitos à base de fibras de carbono ou de vidro (reforço com FRP – “Fiber Reinforced Polymers”) elementos de betão armado, como por exemplo no encamisamento de pilares e reforço à flexão e corte de vigas ou lajes. Nestas soluções, a resina é responsável pela adesão das fibras de reforço ao suporte e por transmitir tensões entre os diferentes materiais.

O reforço de alvenaria antiga com FRPs foi também uma prática comum nas últimas décadas do século passado, contudo a experiência Italiana demonstrou vários problemas de incompatibilidade de materiais, nomeadamente ao nível da microestrutura.

As resinas também têm sido incorporadas em soluções de impermeabilização de elementos de betão, nomeadamente de fundações e caves. Tipicamente, estas soluções podem ser aplicadas por injeção, impregnação, pincelagem e projeção.

## **Fibras sintéticas**

A elevada resistência à tração das fibras de carbono ou de vidro levou a que soluções originalmente desenvolvidas para aplicações aeronáuticas fossem adaptadas para o reforço de construções existentes. O reforço de estruturas de betão armado tem sido o principal foco da utilização de fibras, que geralmente são aplicadas por colagem superficial ou introduzidas em entalhes (sistemas de reforço FRP). Para este efeito, as fibras de carbono ou fibras de vidro são fornecidas sob a forma de mantas ou laminados e são aderidas aos elementos de betão por meio de resinas epóxi.

O reforço com FRPs também foi bastante utilizado em Itália no reforço sísmico de estruturas de alvenaria, contudo a grande incompatibilidade das resinas epóxi utilizadas com as alvenarias antigas levou praticamente ao abandono desta solução nestes casos. Em alternativa, este tipo de fibras passou a ser utilizado em sistemas de reforço baseados em rebocos armados (reforço TRM – “Textile-Reinforced Mortar”), onde as fibras fornecidas em forma de malha são aderidas às paredes por meio de uma argamassa de reboco compatível à base de cal.

As fibras sintéticas também têm sido utilizadas em soluções de reabilitação térmica e acústica, nomeadamente de isolamento pelo interior. São exemplos destes materiais a lã de rocha e a lã de vidro.

## **Plásticos**

O plástico é sem dúvida um dos materiais mais importantes das sociedades modernas, integrando de alguma forma muitos dos bens de consumo produzidos atualmente. Contudo, a sua utilização massificada também tem sido muito questionada, devido aos problemas ambientais que a sua utilização vem causando.

Os plásticos também tomaram um lugar preponderante nos processos de construção e reabilitação, sendo principalmente utilizados nas infraestruturas das construções. As principais vantagens dos plásticos são a sua leveza, versatilidade, desempenho e baixo custo, o que certamente contribuiu para a disseminação destes materiais.

Os plásticos utilizados na construção e reabilitação incluem o poliestireno (expandido – EPS ou extrudido – XPS), policloreto de vinil (PVC), poliamida, policarbonato, polipropileno e polietileno. Estes resultam numa diversidade de soluções aplicadas na reabilitação do edificado.

Por exemplo, o poliestireno é utilizado nas placas de isolamento dos sistemas de isolamento pelo exterior (ETICS – “External Thermal Insulation Composite System”), que têm enfrentado alguma competitividade face a soluções naturais à base de cortiça. Já o PVC, poliamida, polipropileno e polietileno são utilizados nas tubagens das redes de um edifício. Além disto, o PVC é também bastante utilizado em caixilharias, janelas e portas, bem como soluções de revestimento de pavimentos.

### **Gesso cartonado**

O gesso cartonado é hoje amplamente utilizado para a realização de paredes e tetos em construção nova e reabilitação. Permite a execução de revestimentos leves e bem adaptados a pavimentos mais flexíveis em madeira e de fácil remoção posterior.

As placas de gesso cartonado são fixas com recurso a parafusos a perfis metálicos leves que conferem o suporte estrutural. O acabamento é realizado através do tratamento de juntas entre placas, emacamento e pintura.

Existem diversos tipos de placas que permitem adaptar a diversas exigências funcionais, humidade, fogo, acústico ou altas temperaturas. A sua utilização permite uma construção seca, mais limpa e rápida que uma construção tradicional.

No âmbito da reabilitação, tem sido ampla a utilização de placas de gesso cartonado, quer em coberturas, quer em paredes adicionais, permitindo a incorporação de materiais de isolamento térmico e acústico de forma a cumprir disposições regulamentares.

### **Tintas**

Após muito tempo de utilização de soluções tradicionais de caição e tintas baseadas em óleo de linhaça, o Século XX revolucionou o mundo da pintura interior e exterior das construções. Após a Segunda Guerra Mundial, deu-se o surgimento das tintas plásticas, que ainda se utilizam atualmente com diversas variações induzidas pela investigação e desenvolvimento industrial.

Recentemente, a indústria de tintas tem intensificado a preocupação com a sustentabilidade, prezando um menor impacto no ambiente e na saúde humana, diminuindo a libertação de COVs.

Desta forma, tem havido uma redução consistente do teor de solventes, mas também uma maior utilização por parte da indústria da construção de tintas com base aquosa.

## **Alumínio**

A utilização de alumínio é significativa na contemporaneidade, principalmente no que toca aos vãos. Neste contexto, a caixilharia de alumínio substituiu a prática existente de utilização de madeira para portas e janelas. Esta utilização tem efeitos positivos como um garante de estanqueidade à água e a possibilidade de utilização de vidro duplo, permitindo melhor desempenho térmico e acústico.

Mais recentemente, a utilização de caixilharia com corte térmico tem sido relevante no campo da melhoria do comportamento térmico dos edifícios. A debilidade deste tipo de solução está ligada à estanquidade ao ar e pode ser debelada com a utilização de dispositivos de ventilação na própria caixilharia. O impacto deste material em termos de sustentabilidade é elevado e, cada vez mais, aumenta a utilização de elementos produzidos com uma percentagem (cada vez maior) de alumínio reciclado.

### **3.2 Requisitos que devem cumprir os materiais usados na Reabilitação 4.0**

O campo de reabilitação do edificado compreende uma diversidade de tipologias de intervenção, dependendo da relevância histórica dos edifícios. Assim, para edifícios antigos com valor patrimonial a questão chave de autenticidade é basilar e, para tal, é fundamental que as intervenções cumpram critérios de respeito pelos materiais e técnicas preexistentes, conservando este valor para o futuro. Neste contexto, todas as necessidades de intervenção se devem pautar pela compatibilidade de soluções e é essencialmente neste campo que a utilização de materiais tradicionais é relevante.

No campo dos restantes edifícios, as ações de reabilitação têm, automaticamente, um espectro de intervenção mais aprofundado. Assim, os projetos de engenharia e arquitetura podem implicar uma mudança significativa em termos espaciais e materiais, incorporando indubitavelmente melhorias em termos térmicos, acústicos, de combate a incêndio e de acessibilidade, entre outros. Os materiais de construção terão de responder a estes requisitos, promovendo a conjugação das diversas necessidades contemporâneas de conforto, estética e durabilidade.

No contexto “4.0”, em ambos os casos, a questão da sustentabilidade ambiental é alicerce das escolhas a efetuar em termos de materiais de construção, englobando conceitos como a pegada de CO<sub>2</sub>, a energia incorporada e, claramente, a Análise de Ciclo de Vida (ACV). Para além destes requisitos específicos de cariz ambiental, é também fundamental que novos materiais e técnicas, tais como o BIM 5D, nanomateriais e a impressão 3D sejam incorporados numa perspetiva de inovação e Reabilitação 4.0. Para esta finalidade, deve existir uma adaptação dos diversos níveis de formação e ensino e também uma reestruturação exigente, onde tanto a sustentabilidade, como a manutenção estarão incluídas.

### **3.3 Novos materiais na Reabilitação 4.0**

É sabido que a indústria da construção representa um papel fundamental no desenvolvimento e crescimento económico sendo, ao mesmo tempo, responsável por impactos nefastos no meio ambiente, comportando processos geradores de emissões de gases de efeito de estufa e consumidores de recursos energéticos, hídricos e materiais.

Face a este panorama, é imperativo que as diversas atividades associadas a este setor se pautem por critérios de sustentabilidade com vista a adequá-las aos padrões de exigência da sociedade moderna, à sobrevivência e competitividade do setor e às preocupações ambientais. Assim sendo, para além da digitalização, informatização e industrialização dos processos subjacentes à Construção 4.0, a racionalização no uso dos recursos e a adoção de soluções mais sustentáveis e eficientes é igualmente fulcral na concretização dos objetivos que lhe estão subjacentes. Acrescenta-se ainda o facto de ser necessário cumprir metas europeias neste âmbito, salientando-se aqui a eficiência energética dos edifícios, a redução da produção de resíduos e a adoção de princípios de economia circular.

No contexto do setor energético, como se referiu no capítulo 2, o elevado consumo de energia nos edifícios e o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> daí resultantes exige a adoção de soluções construtivas mais eficientes que contribuam para a melhoria do desempenho energético dos edifícios novos e existentes. As Diretrizes Europeias neste domínio apresentam como principal objetivo que, até 2050, o consumo de energia nos edifícios seja praticamente nulo.

Por outro lado, a elevada produção de resíduos resultantes das mais diversas atividades económicas é igualmente uma preocupação. As políticas europeias apresentam como objetivos prioritários a redução da quantidade de resíduos produzidos; a maximização da reciclagem e da

reutilização; a limitação da incineração dos materiais não recicláveis e ainda a redução da deposição em aterros dos resíduos não recicláveis e não suscetíveis de valorização.

Sendo a reabilitação em si um ato de sustentabilidade, principalmente quando são mantidos os elementos e os materiais existentes, também a utilização de materiais tradicionais, naturalmente compatíveis com o edificado mais antigo, é uma das situações que contribui para a sustentabilidade. De facto, os materiais tradicionais são, de uma forma geral, causadores de menores pegadas ecológicas. Tendo em conta as necessidades de reabilitação em edifícios mais recentes e introduzindo fatores de inovação no edificado mais recente, há que ponderar a energia incorporada nos materiais e o seu potencial em termos de economia circular. Neste contexto, materiais com incorporação de resíduos e materiais recicláveis terão um papel cada vez mais relevante nesta área.

A implementação dos princípios “4.0” no setor da construção, e particularmente na reabilitação de edifícios, deve portanto pautar-se pela racionalização dos materiais disponíveis, pela utilização de materiais mais eficientes e sustentáveis, reduzindo a produção de resíduos e mitigando a escassez de matérias-primas. O cumprimento destes pressupostos deverá ser suportado pelas tecnologias de informação existentes de planeamento, apoio à decisão e otimização de processos e recursos, nomeadamente recorrendo a ferramentas BIM, Big data, cloud computing, inteligência artificial, IoT, manufatura aditiva, realidade virtual e aumentada.

### **3.3.1 Materiais incorporando resíduos**

A utilização de materiais e soluções construtivas energeticamente mais eficientes, recorrendo por exemplo, à valorização de resíduos e subprodutos com diferentes origens, poderá ser um contributo para o cumprimento das diretrizes europeias, quer em termos de melhoria da eficiência energética de edifícios, quer no que respeita à redução da produção de resíduos. Assim sendo, é fundamental que qualquer intervenção de reabilitação se pautar por critérios de sustentabilidade com vista à redução dos impactos nefastos no meio ambiente e que, simultaneamente, numa perspetiva de economia circular, promova a circulação dos materiais em ciclo fechado com vista ao aumento na criação de valor.

Neste sentido, diversas propostas de materiais alternativos e mais sustentáveis têm emergido, alguns deles já com visível introdução em intervenções de reabilitação, enquanto outros, ainda em fase de desenvolvimento, se mostram igualmente promissores na resposta às problemáticas ambientais. O reaproveitamento de resíduos e subprodutos industriais e a sua incorporação em

materiais de construção tem sido, atualmente, um desafio. O potencial de reutilização de resíduos de construção e demolição (RCD) (Figuras 3.11 e 3.12), resíduos têxteis, resíduos agroflorestais, entre outros, tem merecido especial atenção, surgindo propostas de novos materiais, nomeadamente na forma de blocos e placas de revestimento.



Figura 3.11 - Aproveitamento de RCD para o fabrico de blocos

<https://www.scielo.br/j/remi/a/XqSHDz6KkxNJGshwFqNwK4r/?format=pdf&lang=en>



Figura 3.12 - Blocos de resíduos comprimidos com diferentes percentagens de resíduos de construção e de poliuretano

Fonte - Briga-Sá, A. et al. (2021)

As intervenções de reabilitação nos edifícios incluem a melhoria das condições de conforto interior, destacando-se a necessidade de reforço a nível térmico e acústico das soluções construtivas existentes. A introdução de novos materiais de isolamento térmico e acústico em alternativa aos comumente utilizados vem adicionar a componente de sustentabilidade às operações de reabilitação, sendo visível uma maior preocupação por parte das empresas do setor em disponibilizar no mercado este tipo de materiais. Produtos isolantes resultantes do

aproveitamento de resíduos têxteis (Figuras 3.13 e 3.14) e de lã de ovelha (Figura 3.15) como matéria-prima são alguns dos exemplos. Desperdícios da indústria têxtil e peças de vestuário em fim de vida são convertidos em materiais de isolamento térmico interior e exterior e incorporados em painéis de parede pré-fabricados.

Estes produtos de isolamento têxtil reciclado, já disponíveis no mercado em vários países, são caracterizados por propriedades higrótérmicas bastante satisfatórias, apresentando vantagens significativas em termos de retenção de calor e na garantia da estabilização da temperatura no interior do edifício. Contribuem para a redução sonora e atuam como controlador de humidade, assumindo-se no mercado como um material de isolamento benéfico em termos de qualidade do ar e de bem-estar interior para utilizadores que sofrem de alergias ou asma. São apresentados como alternativas viáveis aos isolamentos à base de fibras inorgânicas, como lã mineral ou lã de vidro. Acresce ainda o facto de acarretar menor consumo de energia no seu processo de fabrico e de poder ser reciclado novamente quando removido dos edifícios.



Figura 3.13 - Materiais de isolamento térmico e acústico à base de resíduos têxteis

Fonte - [https://www.archiproducts.com/en/products/manifattura-maiano/natural-insulating-felt-and-panel-for-sustainable-building-recycletherm-km0\\_8080](https://www.archiproducts.com/en/products/manifattura-maiano/natural-insulating-felt-and-panel-for-sustainable-building-recycletherm-km0_8080)

Estudos já desenvolvidos demonstram que a incorporação de resíduos têxteis em misturas cimentícias permite obter materiais de construção leves com um ganho de resistência mecânica relativamente às soluções anteriores, mantendo propriedades térmicas e acústicas, para além de demonstrarem bom comportamento ao fogo (Magalhães, L. 2017). Apresentam potencial de aplicação em blocos para paredes de compartimentação ou como placas de revestimento, sendo favoráveis à aplicação de materiais de revestimento cerâmicos e acabamentos em pintura.



Figura 3.14 - Incorporação de resíduos têxteis em elementos de construção leve

Fonte - Magalhães, L. (2017)

### 3.3.2 Materiais naturais

A lã de ovelha inalterada tem também sido comercializada como material de isolamento ecológico e renovável em vários países, apesar de em Portugal a sua utilização não ter representatividade.



Figura 3.15 - Aplicação de lã de ovelha como material de isolamento térmico

Fonte - [www.builderonline.com/products/building-construction-materials/insulating-homes-with-natural-sheeps-wool](http://www.builderonline.com/products/building-construction-materials/insulating-homes-with-natural-sheeps-wool)

O potencial de aplicação de resíduos e subprodutos decorrentes das atividades agroflorestais tem também despertado a atenção por parte da comunidade no sentido de os integrar como matéria-prima para a produção de materiais de construção mais sustentáveis. Exemplos disso são a espiga de milho e a casca de pinheiro, cuja incorporação como matérias-primas em materiais compósitos utilizando ligantes poliméricos ou cimentícios tem revelado resultados

promissores em aplicações não estruturais e com propriedades de isolantes térmicos e acústicos (Figura 3.16).



Figura 3.16 - Incorporação de granulado de carolo de espiga de milho na produção de placas e blocos de betão leve

Fonte - Pinto, J. et al. (2016)

Estudos desenvolvidos até ao momento demonstram que estes subprodutos apresentam uma microestrutura alveolar, semelhante à de materiais correntes de isolamento térmico, tal como o poliestireno extrudado ou aglomerado negro de cortiça. Placas de granulado de carolo de espiga de milho com ligante polimérico revelaram propriedades de isolantes térmicos e acústicos, tendo-se estimado valores de condutibilidade térmica de cerca de  $0,06 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ . No caso da sua incorporação em blocos de betão leve em substituição do granulado de argila expandida, obtêm-se valores de coeficiente de transmissão térmica de aproximadamente  $1,15 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$  (Pinto, J. et al., 2016).

No que respeita à casca de pinheiro, a sua incorporação em caldas cimentícias permitiu obter elementos leves (Figura 3.17), cujo valor da condutibilidade térmica ronda os  $0,07 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  (Fernandes, C. R., 2020). Para além das propriedades térmicas identificadas, verifica-se que estes materiais compósitos apresentam comportamento favorável à aplicação de diferentes tipos de revestimentos e acabamentos e também à sua fixação em elementos de suporte.

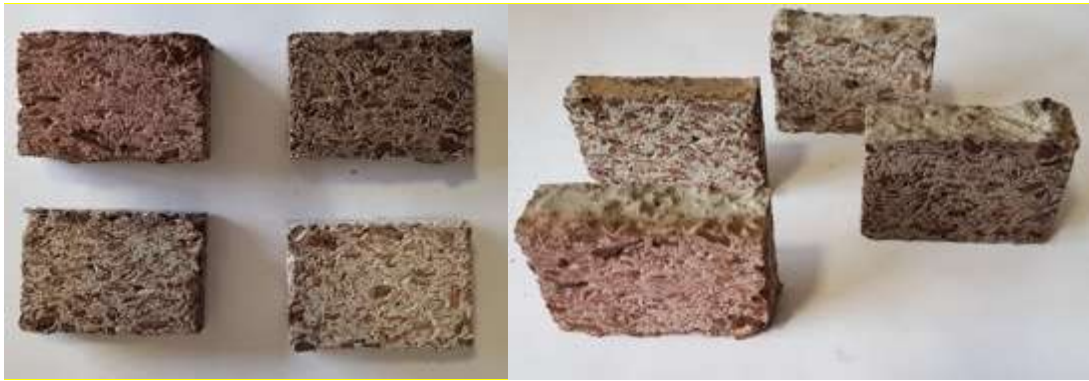


Figura 3.17 - Incorporação de casca de pinheiro na produção de placas de revestimento

Estes são apenas alguns exemplos de resíduos ou subprodutos naturais e orgânicos, cuja aplicação como matéria-prima na produção de novos materiais de construção se mostra possível e promissora na obtenção de soluções construtivas mais sustentáveis. Mostra-se, no entanto, necessário aprofundar os estudos das diversas propriedades físico-químicas e mecânicas com vista à otimização das suas potencialidades e avaliar a sua introdução no mercado e a sua industrialização.

### 3.3.3 Materiais estruturais

Em trabalhos de reabilitação têm sido utilizadas soluções estruturais alternativas quando a estrutura existente apresenta um grau de degradação muito elevado ou esta não se coaduna com a nova utilização do edifício. Estas novas soluções tendem a ser pouco intrusivas, rápidas em termos de execução, económicas, leves, entre outros atributos. As soluções de estruturas metálicas em aço (Figuras 3.18 e 3.19), em aço leve (Figura 3.20) e em madeira GLULAM (Figuras 3.21) têm-se revelado adequadas para este efeito.

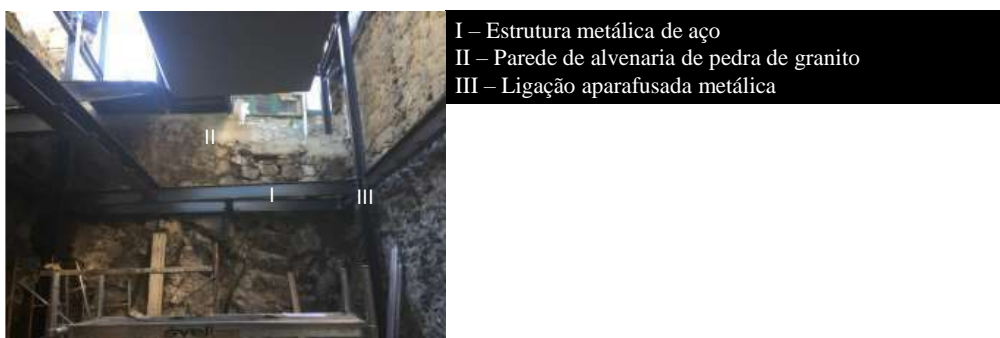


Figura 3.18 - Estrutura metálica



Figura.3.19 - Reforço estrutural com inclusão de pilar metálico numa obra de reabilitação

Em situações de reforço estrutural também existem muitas possibilidades e cada caso de reabilitação é um caso específico que deve ser tratado de modo exclusivo. Para além de se poderem usar os materiais identificados anteriormente, os laminados e mantas de fibra de carbono (com respetivos adesivos) e de kevlar são também possibilidades muito interessantes devido à sua elevada capacidade resistente mecânica, em particular, à tração, à sua simplicidade de aplicação e devido a apresentar reduzida espessura.



Figura 3.20 - Reabilitação com ampliação de um piso com recurso a estrutura em aço leve



Figura 3.21 - Aplicação de GLULAM ao nível da cobertura

A crescente importância do impacto ambiental “impõe” a escolha de soluções que combinem o uso de materiais energeticamente eficientes com técnicas que reduzam a utilização de recursos. As membranas arquitetónicas, utilizadas essencialmente em estruturas exteriores de cobertura e proteção solar, estão também vocacionadas para intervenções em construções existentes. Existem estudos e aplicações que sustentam o interesse destes materiais neste âmbito

(Macieira, M. et al, 2020), como se pode observar na Figura 3.22, onde se apresentam várias soluções recorrendo à utilização de diferentes materiais nas extensões verticais de um edifício antigo.

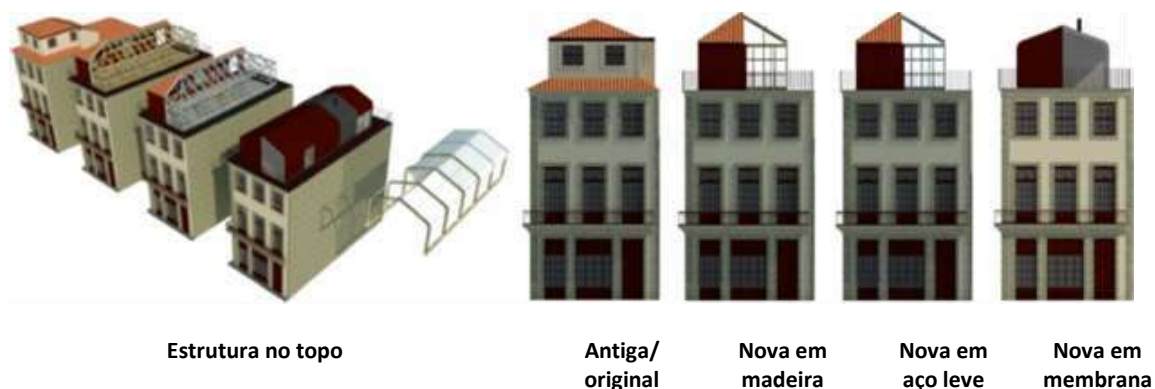


Figura 3.22 - Axonometrias (esquerda) e alçados (direita) relativos a diferentes extensões verticais de um edifício antigo

Fonte - Macieira, M., Mendonça, P., Guedes, J. (2019).

### 3.3.4 Novos materiais de revestimento

Em termos de materiais de revestimento de cobertura, continua a ser corrente a aplicação de telha cerâmica em trabalhos de reabilitação. Como reforço de impermeabilização da cobertura é prudente aplicar-se uma subtelha tipo onduline betuminosa, Figura 3.23. A aplicação de chapas metálicas de zinco tipo camarinha também é uma opção de revestimento de coberturas que tem vindo a revelar-se interessante em trabalhos de reabilitação.



Figura 3.23 - Subtelha tipo Onduline betuminosa

Dependente da zona de localização do edifício a reabilitar, o revestimento exterior de fachadas pode variar de acordo com o típico da zona. A pintura, o azulejo, a chapa metálica e o solete de ardósia são alguns exemplos. A título de exemplo, a Figura 3.24 mostra a aplicação de chapa

metálica como revestimento exterior de uma parede de um edifício reabilitado na cidade de Lamego.

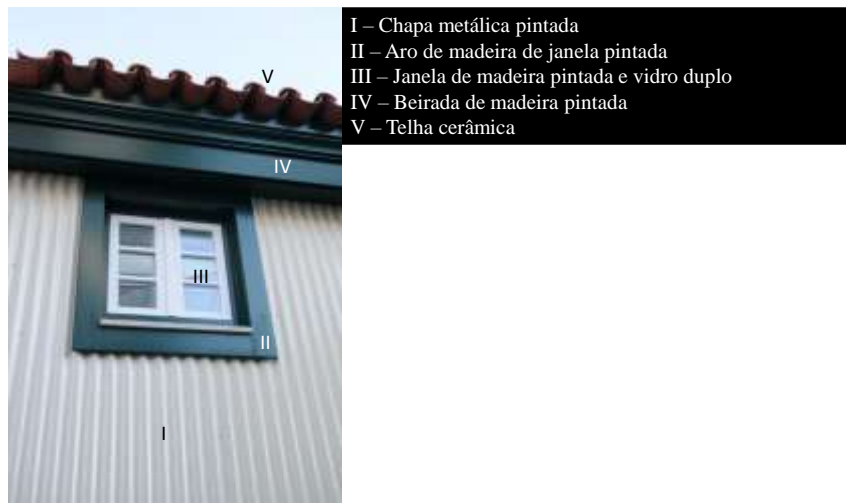


Figura 3.24 - Fachada com revestimento em chapa metálica

Nos trabalhos de reabilitação também se tem aplicado materiais de isolamento térmico novos para conferir ao edifício a reabilitar o conforto requerido nos padrões de qualidade atuais. Alguns desses materiais são o aglomerado negro de cortiça, o XPS, o EPS (esferovite), a lã de rocha, a lã de vidro, espuma poliuretano, entre muitas outras opções. As Figuras 3.25 e 3.26 mostram a aplicação de alguns destes materiais em trabalhos recentes de reabilitação e como exemplo deste tópico.



Figura 3.25 - Alguns materiais de isolamento térmico para paredes

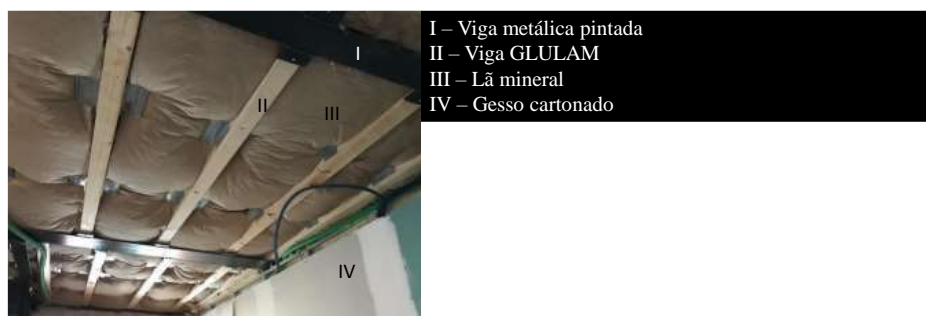


Figura 3.26 - Isolamento de pavimento com lâ mineral

Outro material novo requerido em obras de reabilitação e quando a pedra de granito é abundante é a tela anti-radão, Figura 3.27. Este material é especialmente importante em termos de saúde e conforto, já que tem um impacto direto na proteção da saúde dos ocupantes e utilizadores de edifícios cujos solos de fundação são emissores de radão.



Figura 3.27 - Tela anti-radão aplicada em pavimento térreo

Em termos de materiais de revestimento de pavimento o leque de escolha é considerável. Quando o material de revestimento existente apresenta um bom estado de conservação, é boa técnica construtiva preservá-lo. Destes destacam-se a pedra natural (mármore, granito, entre outros tipos de pedras ornamentais), a madeira, o mosaico hidráulico, entre muitos outros. Quando esta realidade não acontece na obra de reabilitação, as opções de escolha do material de revestimento novo de pavimento ainda acresce mais. Para além dos referidos anteriormente, dispõem-se de ladrilhos cerâmicos, de grés, de linóleos, de alcatifas, entre muitos outros tipos.

A Figura 3.28 mostra como exemplo a aplicação de ladrilho cerâmico ao nível do pavimento térreo numa obra de reabilitação.



Figura 3.28 - Aplicação de ladrilho cerâmico ao nível do pavimento térreo

### **3.3.5 Novos materiais para cozinhas e instalações sanitárias**

Na reabilitação dos espaços de cozinha e de instalações sanitárias esta situação também se verifica. Neste caso, acresce o material de revestimento das paredes cujas opções de escolha também poderão ser muito variadas. A escolha de azulejo continua a ser uma opção corrente. A Figura 3.29 mostra um exemplo desta escolha num trabalho de reabilitação.



Figura 3.29 - Aplicação de azulejo como revestimento de parede numa instalação sanitária num edifício reabilitado

### 3.3.6 Novos materiais para caixilharias

Os materiais das caixilharias para portas e janelas são também outro domínio com grande possibilidade de alternativas. Tradicionalmente a madeira é o material de eleição. Em trabalhos de reabilitação esta será a opção recomendada para manter a tradição. Em determinadas obras de reabilitação esta opção será mesmo imposta. Contudo, existem soluções alternativas tais como a caixilharia em aço, em aço inoxidável, em alumínio lacado ou anodizado, em polímero, compósito de madeira, em fibra de vidro ou, mesmo até, a solução de todo o vão de porta ou janela totalmente concebido em vidro.

Os vidros também poderão ser de diferentes tipos e espessuras. Poderão ser simples, laminados, temperados, espelhados, fumados, entre outras possibilidades. Por vez a ligação da caixilharia à parede antiga de pedra poderá ser complexa de executar face à irregularidade da face da parede. Essa situação poderá requerer a aplicação de silicone. A Figura 3.30 ilustra um exemplo de vão de porta de caixilharia de alumínio lacado com vidro duplo. No remate, do aro da porta à parede de granito recorreu-se a silicone para colmatar os espaços vazios.

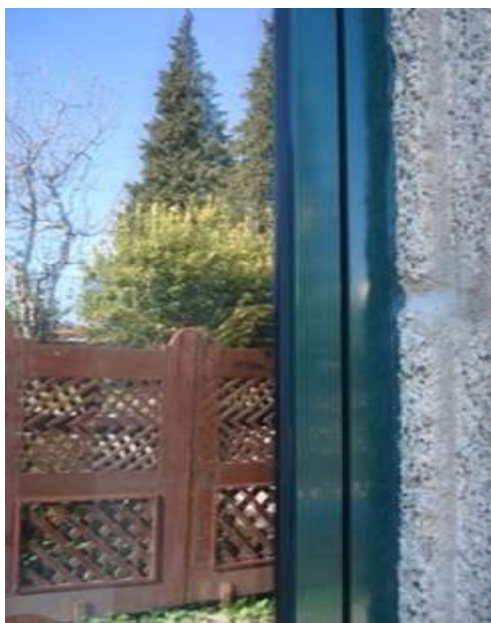


Figura 3.30 - Vão de porta de alumínio lacado com vidro duplo e remate de silicone

### 3.4 Características técnicas e modo de aplicação dos materiais

As características dos materiais englobam características térmicas, acústicas, resistência mecânica, comportamento face à água, durabilidade, comportamento ao fogo, salubridade/saúde, pegada de CO<sub>2</sub>, ACV. A Tabela 3.1 apresenta uma avaliação qualitativa da forma como se comportam os materiais tradicionais relativamente às características antes referidas.

Tabela 3.1 - Avaliação qualitativa da forma como se comportam os Materiais Tradicionais

Material	Térmica	Acústica	Suporte resistência	Água	Durabilidade	Fogo	Salubridade Saúde	Emissões CO <sub>2</sub>	ACV
Pedra	**	***	***	**	***	***	**	***	***
Madeira	*	*	**	*	**	**	**	***	**
Cal	*	*	*	*	*		**	**	**
Gesso	*	*	*	*	*		**	**	**
Terra	**	**	*	-	***	**	*	***	***
Cerâmica	*	**	**	***	**	*	***	*	**
Vidro	-	-	*	***	***	*	***	-	**
Aço/Ferro	-	*	***	-	**	-	**	**	***
Cobre/Zinco	0	0	*	***	***	0	**	***	**

Legenda: - Mau; \* Médio; \*\* Bom; \*\*\* Muito bom; 0 não aplicável

A Tabela 3.2 apresenta uma avaliação qualitativa da forma como se comportam os materiais não tradicionais relativamente às características antes referidas.

Tabela 3.2 - Avaliação qualitativa da forma como se comportam os Materiais Não Tradicionais

Material	Térmica	Acústica	Suporte resistência	Água	Durabilidade	Fogo	Salubridade Saúde	Emissões CO <sub>2</sub>	ACV
Cimento Portland	0	0	***	***	**	**	**	-	*
Ligantes orgânicos	0	0	***	**	**	**	***	**	***
Fibras sintéticas	0	0	***	***	**	*	***	-	**
Plásticos	***	***	***	***	**	-/**	**	-	-
Gesso cartonado	*	-	*	- /***	**	0/**	**	*	**
Tintas	0/**	0	**	**	*	0/**	***	-	**
Alumínio	**	**	***	***	**	*	***	-	**

Legenda: - Mau; \* Médio; \*\* Bom; \*\*\* Muito bom; 0 não aplicável

### 3.5 Identificação e análise de problemas relacionados com os materiais

Os materiais tradicionais eram amplamente utilizados até meados dos anos 50 do século XX, em Portugal. Esta utilização ao longo do tempo e em larga escala permitia que existissem artesãos com conhecimento prático significativo, o que se revelava fundamental para o adequado manuseamento, colocação e execução dos vários materiais e trabalhos de cariz manual.

Atualmente, um dos maiores problemas ligado à utilização dos materiais tradicionais é o conhecimento sobre a sua aplicação, que está extremamente reduzido a alguns artesãos e não difundido, como antigamente. Será necessário fomentar fortemente a área de formação neste campo, sob pena de se perder este conhecimento que é e será extremamente necessário para intervenções em edifícios históricos. Outros entraves existentes ao uso destes materiais são a disponibilidade no mercado e a falta de conhecimento do meio técnico sobre as suas características, aplicação e manutenção.

No que respeita aos materiais novos ou emergentes no mercado da construção, sendo estes soluções alternativas às correntemente usadas, a sua aplicação é ainda bastante reduzida, não se verificando, na maior parte dos casos, a passagem do domínio da investigação para a industrialização e implantação no mercado. Apesar de à data, ainda haver um longo caminho a percorrer no que respeita à sensibilização dos diversos intervenientes no setor para a introdução deste tipo de materiais no sistema produtivo, é de salientar o empenho que se tem verificado na obtenção de soluções inovadoras que se requerem mais sustentáveis, eficientes e concorrenciais.

Considerando a possibilidade de integração de resíduos e subprodutos de diferentes atividades económicas na indústria da construção, é ainda difícil identificar possíveis problemas ou patologias que possam decorrer da sua aplicação, quer em edifícios novos, quer na reabilitação de edifícios existentes. No entanto, uma correta e detalhada caracterização das propriedades químicas, físicas e mecânicas destas matérias-primas e dos materiais compósitos que resultem da sua incorporação, permitirá ajustar a sua potencialidade ao uso, identificando, por exemplo, se irão desempenhar funções estruturais, não estruturais, de isolantes térmicos ou acústicos, e ainda, se apresentam limitações de aplicação na presença da água.

Acrescentam-se ainda as características de durabilidade e contribuição para condições de conforto e de qualidade do ar interior. Considera-se, portanto, que a introdução deste tipo de materiais é ainda um desafio, o qual constitui um primeiro passo para o cumprimento dos pressupostos da Reabilitação 4.0 no domínio da eficiência e da racionalização dos recursos. Atingida a generalização do uso deste tipo de materiais alternativos, fará sentido a industrialização dos processos de fabrico, recorrendo por exemplo a ferramentas de manufatura aditiva e impressão 3D.

### **3.6 Conclusões e Recomendações**

A análise realizada ao longo deste capítulo permitiu compreender a situação atual relativamente à utilização dos materiais tradicionais e dos materiais não tradicionais, sobretudo ao nível da Reabilitação, num período marcado por significativas mudanças e grandes desafios resultantes da Indústria 4.0. Assim, pôde constatar-se que:

- Os materiais tradicionais utilizados até meados do século XX devem continuar a ser aplicados nas obras de reabilitação dos edifícios mais antigos;
- Existe uma panóplia de materiais novos que podem ser utilizados em obras de reabilitação de edifícios mais recentes;
- Os materiais tradicionais têm já algum cariz sustentável; no entanto, é extremamente relevante empregar materiais sustentáveis (energia incorporada, emissão CO<sub>2</sub>, circularidade, entre outros) no contexto da reabilitação, existindo desenvolvimento de produtos neste contexto;

- As atuais exigências de conforto e de qualidade do ar interior implicam que os processos de reabilitação utilizem materiais e soluções que possam fazer face a estes requisitos, existindo também novas ofertas de mercado com características melhoradas;
- As novas tecnologias no âmbito da Reabilitação 4.0 permitirão o desenvolvimento e aplicação de materiais novos, mas também dos tradicionais, com novas características e metodologias de colocação;
- A manutenção dos materiais deve ser equacionada nas soluções construtivas de forma clara, fazendo parte dos projetos; esta situação será sem dúvida um dos resultados da Reabilitação 4.0 e da utilização de novas ferramentas como o BIM.

## **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.

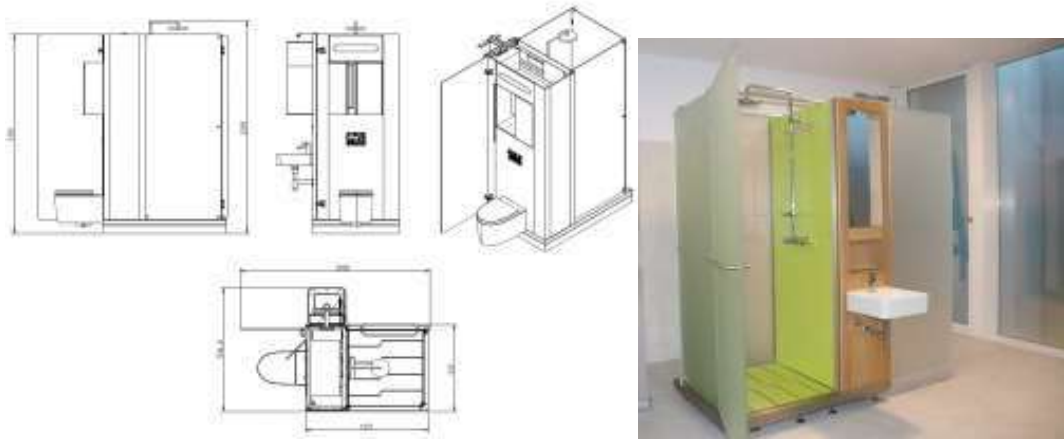


Figura 4.5 - Mobak – WC modular da OLI – Sistemas sanitários

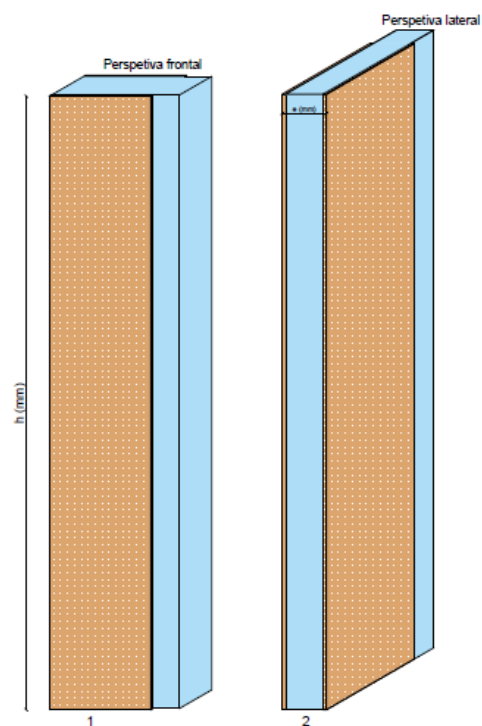


Figura 4.6 - Parede sandwich modular em desenvolvimento pela Universidade de Aveiro em conjunto com a OLI – Sistemas Sanitários SA

- 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-de-obra 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, conseqüentemente, 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 m<sup>2</sup>).



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 cimentícios, 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

<b>Vantagens</b>	<b>Desafios</b>
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 Autônoma

### 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 aspectos 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 controle 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 pré-fabricadas 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.bft-international.com/en/artikel/bft\\_Europe\\_s\\_first\\_3D\\_printed\\_building\\_in\\_just\\_3\\_days\\_re-printed\\_3454309.html](http://www.bft-international.com/en/artikel/bft_Europe_s_first_3D_printed_building_in_just_3_days_re-printed_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-building-is-under-construction](http://www.archdaily.com/949531/3d-printing-for-residential-is-market-ready-germanys-first-building-is-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 conceituais 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, conseqüentemente, 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 autônomo 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 autônomos (AV)

Os Drones e os veículos autônomos (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-business-robotics-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-business-robotics-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/](http://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;  
e
- 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.

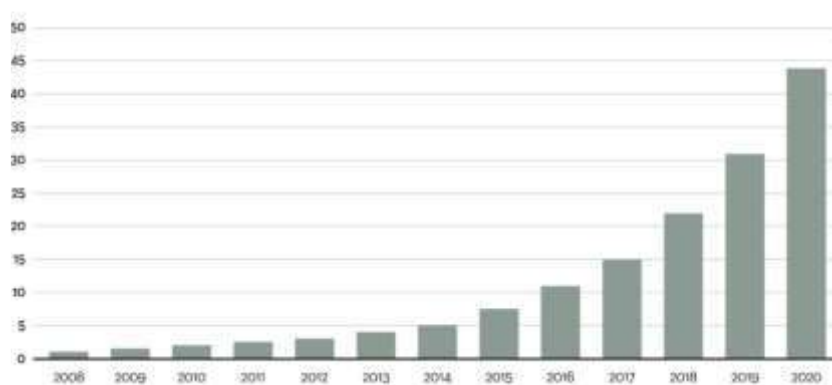


Figura 4.22 - Evolução do volume de dados por ano em zettabytes

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.

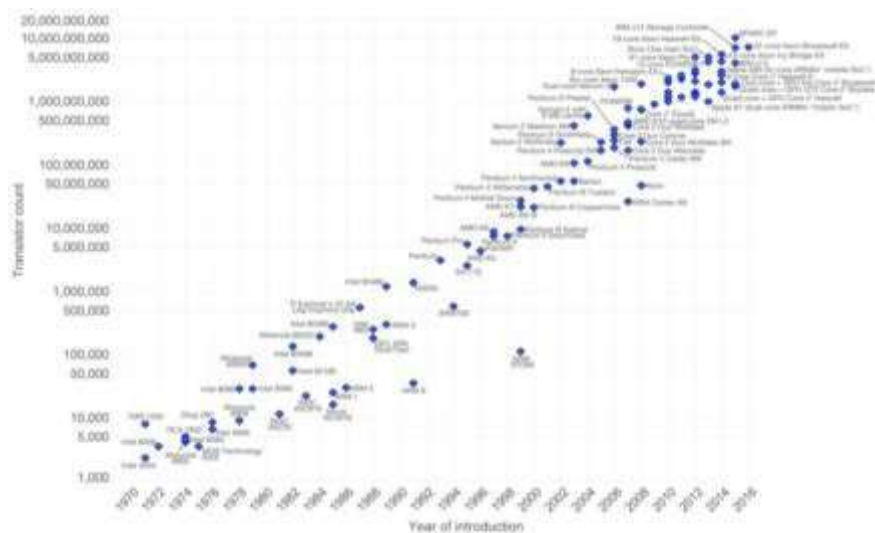


Figura 4.23 - Evolução do número de transístores integrados em chips  
Fonte - <https://ourworldindata.org/technological-progress> (acedido em março, 2022)

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 econômica 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 neurais 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 neurais nas últimas duas décadas. Este crescimento deve-se essencialmente ao aparecimento de grandes volumes de dados, os quais são essenciais para alimentar redes neurais multi-camada, caracterizadas por elevada capacidade de aprendizagem.

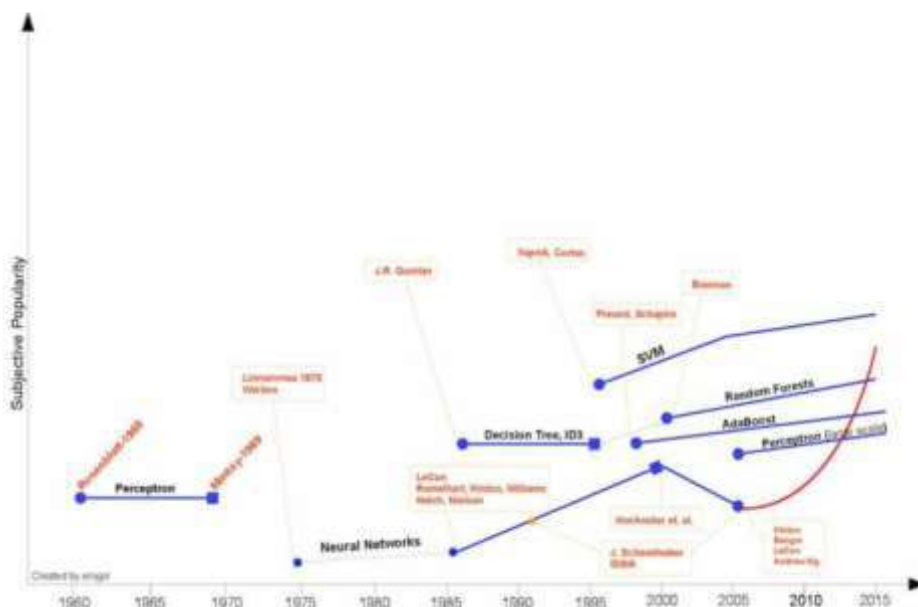


Figura 4.24 - Popularidade dos algoritmos de inteligência artificial ao longo do tempo  
Fonte - <https://ourworldindata.org/technological-progress> (acedido em março, 2022)

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 equipas 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.

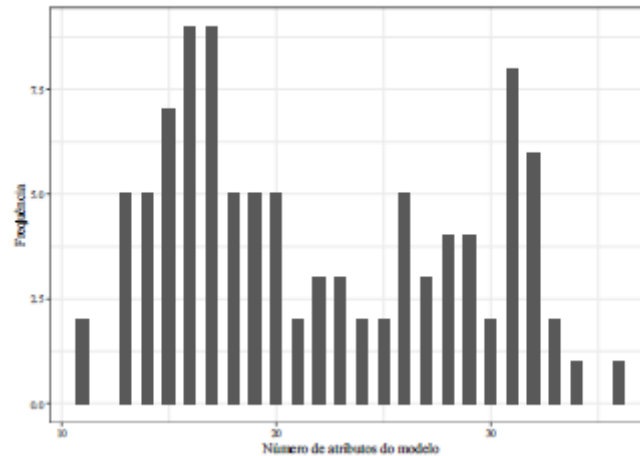


Figura 4.25 - Número de variáveis usadas nos modelos entre todas as soluções ótimas de Pareto  
 Fonte - Tinoco, J. et al. (2018).

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 contínuo) vs. solução de alocação baseada em humanos (ponto).

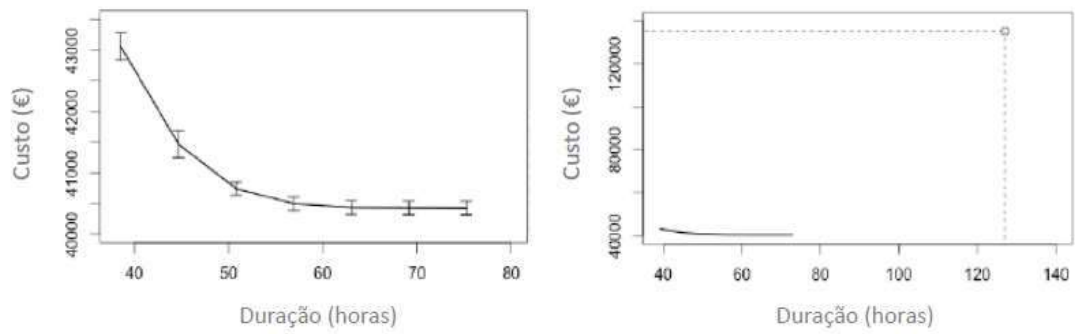


Figura 4.26 - Resultados do processo de otimização através do Diagrama de Pareto  
 Fonte - Parente, M. et al. (2015).

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 respectivos 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 maquete 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 perspectiva 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.

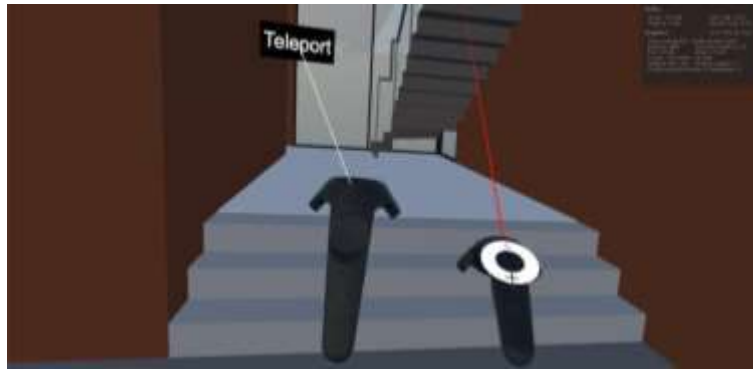


Figura 4.34 - Seleção de um elemento para enriquecimento semântico



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.

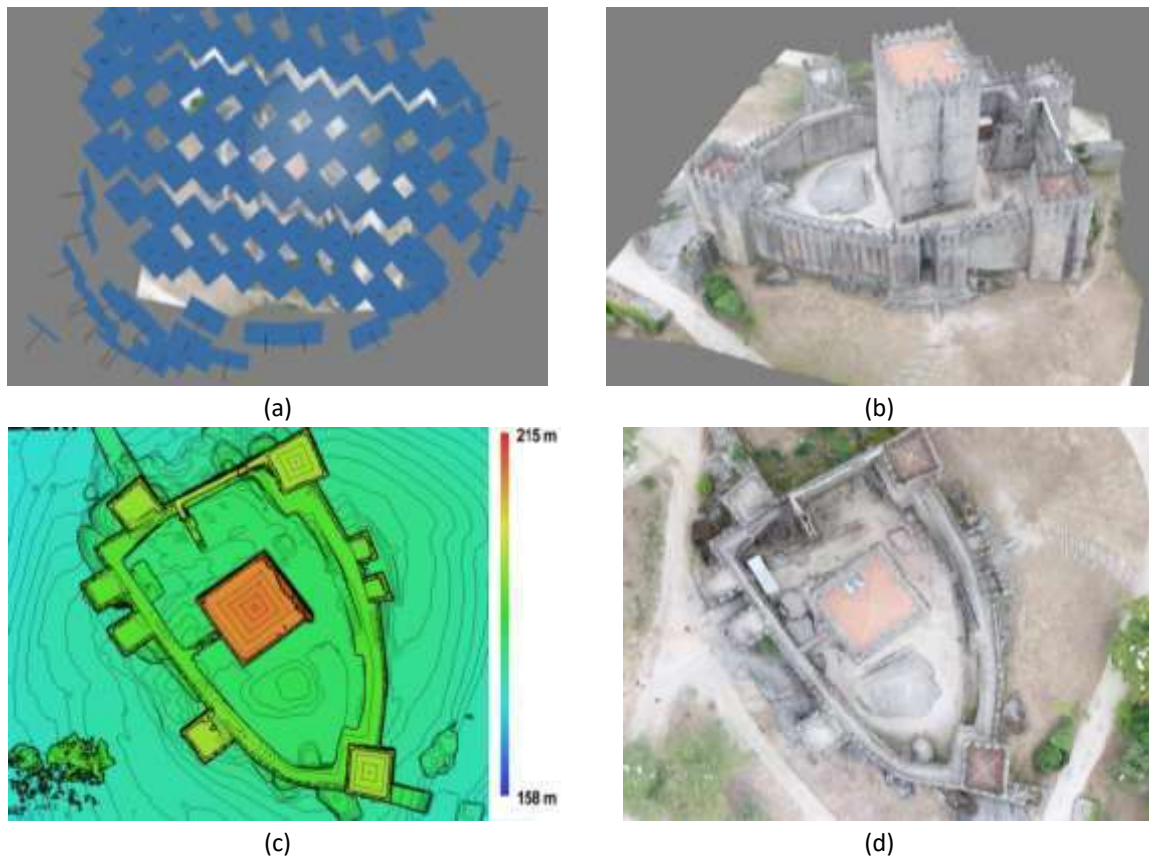


Figura 4.36 - Fotogrametria Digital – Castelo de Guimarães: (a) perspetiva geral das imagens recolhidas, (b) modelo de nuvem de pontos densa, (c) modelo de elevação digital (elevação em m), (d) ortofotomapa obtido por junção e projeção ortogonal das imagens recolhidas.

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).

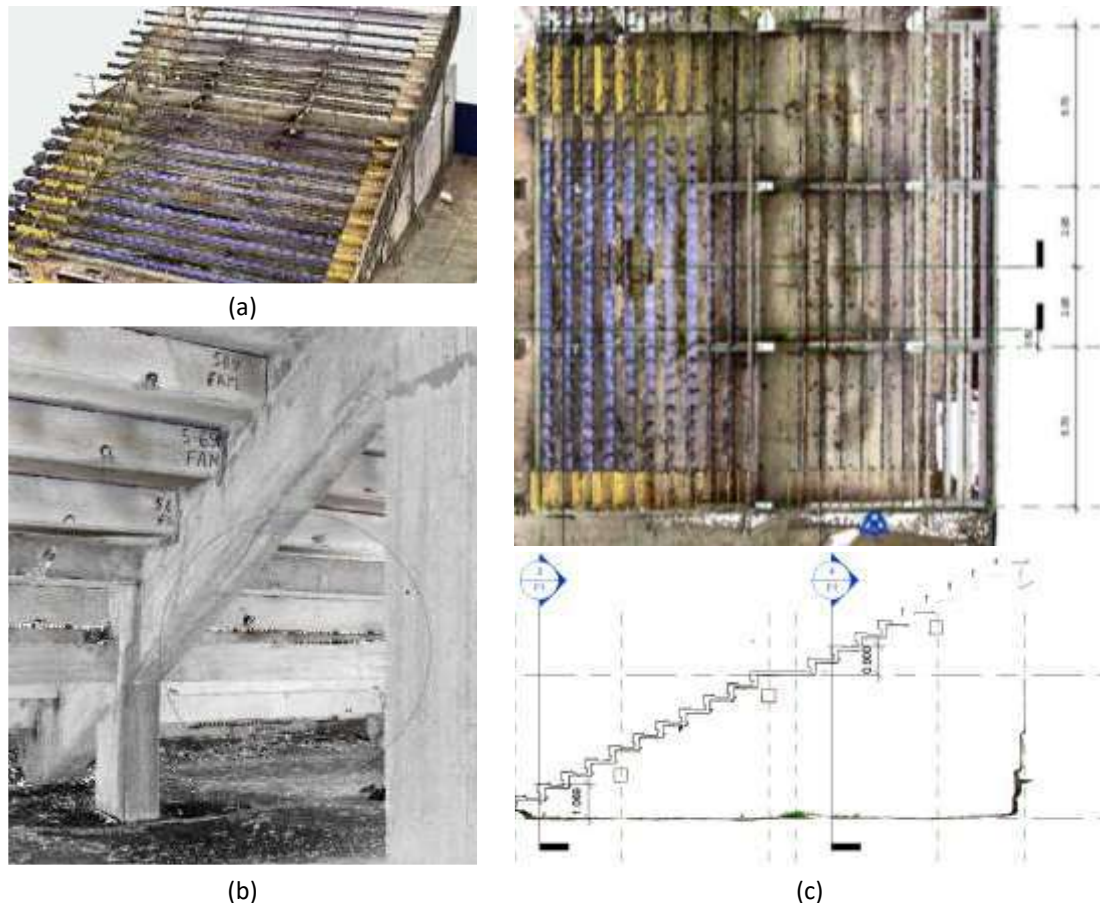


Figura 4.37 - Varrimento laser do Estádio do Famalicão: (a) perspetiva geral da nuvem de pontos com informação RGB da face exterior da bancada, (b) detalhe da nuvem de pontos vista pela face inferior da bancada com elevada resolução, (c) vista em planta da nuvem de pontos da bancada pelo lado exterior, 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 perspectiva 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 visita 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:

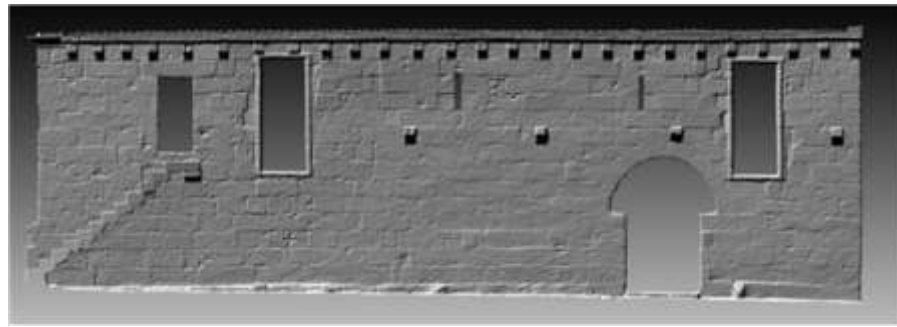
- Análise forense e documentação de infraestruturas em cenários de catástrofe;
- Estudo do estado de conservação de elementos e componentes estruturais em condições de difícil acesso;
- Planeamento de obra em contextos de escavações e aterros, para medições topográficas e avaliação de volumetrias;
- 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.

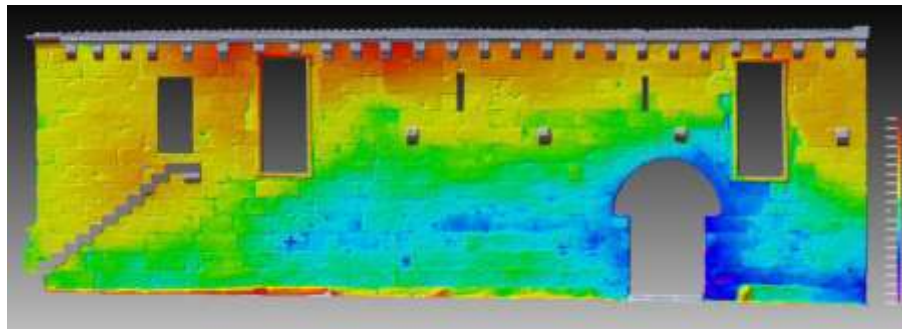
Por outro lado, o Modelo de Informação da Construção (BIM) assume um papel cada vez mais relevante na indústria da construção e está fortemente associado com a Fotogrametria Digital e o Varrimento Laser. Tratando-se de um processo que envolve a geração e gestão de representações digitais de características 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.



(a)



(b)

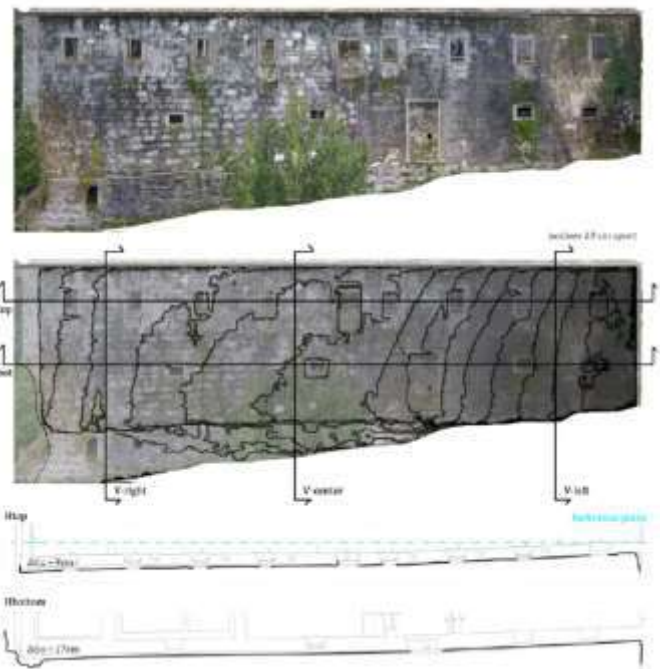
Figura 4.38 - Fotogrametria digital (Igreja de Borba de Godim): (a) geometria do paramento exterior, (b) mapa de deformações para fora do plano.



(a)



(b)



(c)

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 requerer 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.

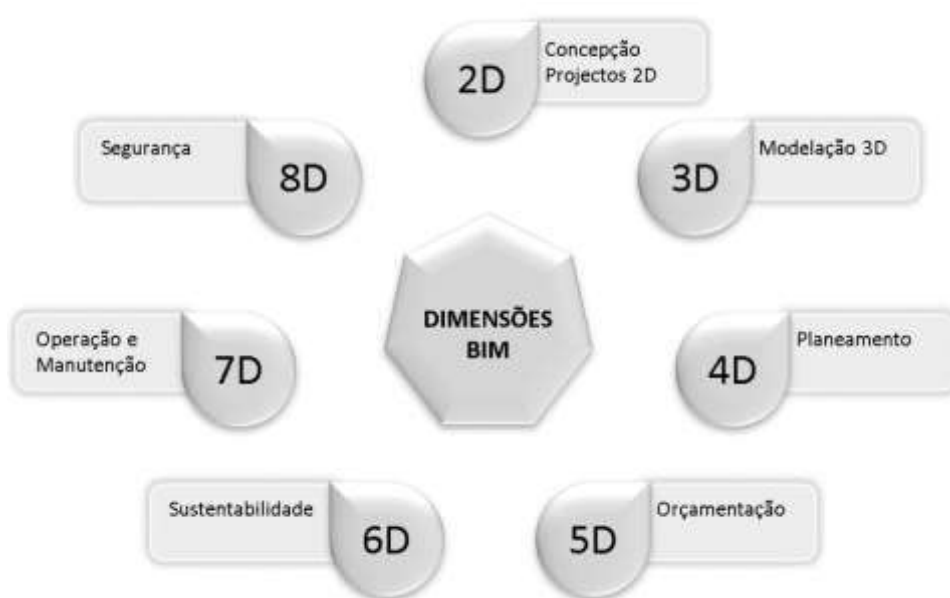


Figura 4.40 - Dimensões BIM

### **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?

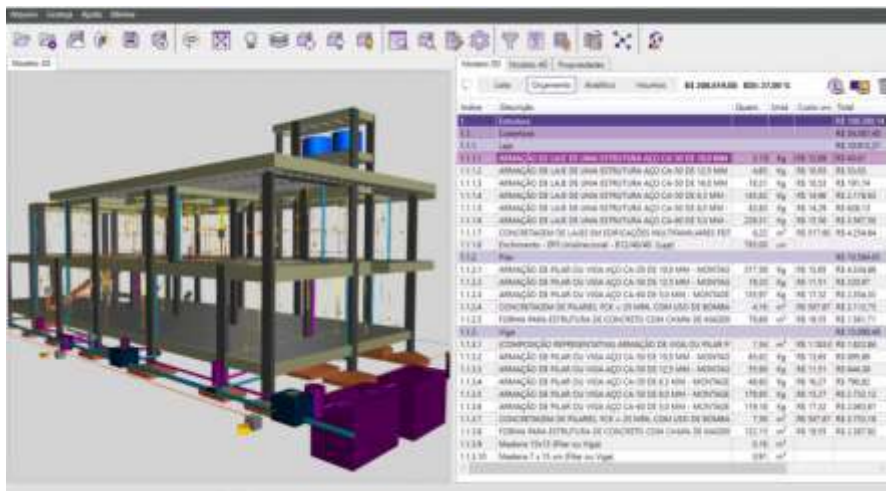


Figura 4.42 - Interface do QiVius BIM 5D  
 Fonte - Junior, F. (2021)

### 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 melhoria, 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
Cype	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, detecção 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 Pré-fabricação 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.

## **CAPÍTULO 5 – RECURSOS HUMANOS NA REABILITAÇÃO URBANA 4.0**

### **5.1 Introdução**

A inovação tecnológica e organizativa decorrente deste novo paradigma industrial vai ter um lugar de destaque nas próximas décadas e terá um impacto significativo nos recursos humanos afetos ao setor da reabilitação urbana.

Os recursos humanos necessários para implementar a Reabilitação 4.0 deverão ser mais especializados, com capacidade para se adaptar e para criar, e ainda para absorver e aplicar rapidamente os conhecimentos à medida que se forem consolidando.

Para além do possível aumento da eficiência geral dos edifícios e das melhorias no conforto dos seus utilizadores, as novas tecnologias, quando aplicadas ao nível da reabilitação poderão minimizar a presença humana prolongada em estaleiro, evitando desconfortos e riscos. A adaptação das condições de trabalho a estes novos desafios, que engloba a formação avançada, permitirá cativar dessa forma mais trabalhadores para ingressarem neste setor, onde a falta de mão de obra é patente.

Este capítulo tem como objetivo traçar um diagnóstico atual do sector a nível dos recursos humanos e propor algumas linhas de orientação aos atores do setor sobre as melhores estratégias a adotar e as melhores práticas a implementar face aos desafios da Reabilitação 4.0.

No ponto seguinte será caracterizada a situação atual dos recursos humanos no setor da reabilitação urbana. Tendo em conta essa situação, no terceiro ponto serão apresentados os desafios atuais que o setor da reabilitação enfrenta. No quarto ponto serão apresentados os desafios que a Reabilitação 4.0 colocará aos diversos intervenientes. Por último, no quinto ponto serão apresentadas as principais conclusões deste capítulo, bem como recomendações para as empresas e entidades responsáveis pelo setor, sobre formas de atuação face a este novo paradigma.

## 5.2 Caracterização da situação atual

### 5.2.1 Falta de recursos humanos

As empresas do sector da construção caracterizam-se pela sua pequena dimensão. Cerca de 70% são empresas com menos de 50 trabalhadores e 31,2% têm menos de 10 trabalhadores (Gabinete de Estratégia e Planeamento, 2021).

Estas empresas, em 2019 empregavam 8,2 % da população ativa (correspondendo a 353.398 trabalhadores), tendo a participação do setor da construção vindo a diminuir substancialmente desde 2008, com uma ligeira retoma entre 2018 e 2019, como se pode observar no gráfico da Figura 5.1.

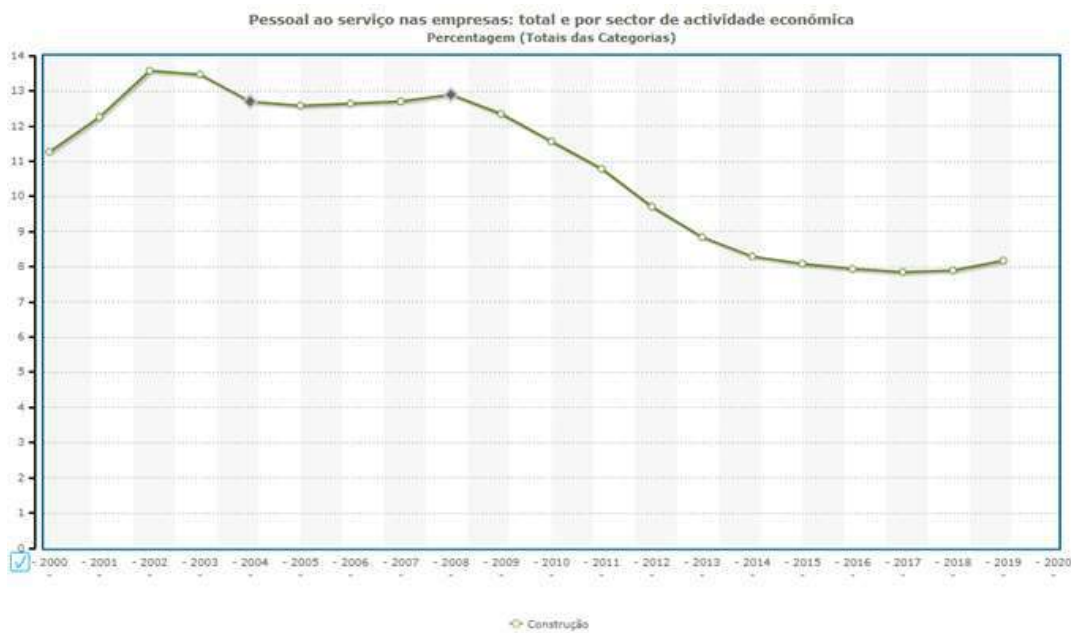


Figura 5.1 - Pessoal ao serviço das empresas de construção

Fonte: PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo. Pessoal ao serviço nas empresas

A falta de recursos humanos nos últimos anos no sector da construção e na reabilitação é sem dúvida o principal fator de constrangimento ao desenvolvimento do setor, como refere Reis Campos, Presidente da AICCOPN (Reis Campos, 2019).

O setor perdeu entre 2008 e 2019 um total de 172.070 trabalhadores, havendo em 2019, 353.398 trabalhadores empregados na construção e reabilitação, para além dos trabalhadores ilegais (PORDATA).

Reis Campos (Neto, 2022) realçava, em fevereiro de 2022, que as empresas associadas a este setor necessitavam de cerca de 80 mil trabalhadores para responder às necessidades criadas. Reis Campos (2019) aponta que esta falta de mão-de-obra se deve em especial ao incremento da atividade no subsetor da reabilitação urbana. Embora neste subsetor exista uma necessidade premente de formação especializada, sendo que Pinto, I. (2019) refere que, só havia, à data, no setor da construção/reabilitação 2800 trabalhadores em formação.

Os inquéritos realizados pela AICCOPN permitem concluir que os industriais da construção civil e obras públicas apontam como sendo o principal constrangimento ao desempenho da sua atividade, a falta de mão-de-obra especializada (Tabela 5.1), embora mais recentemente no 1.º trimestre de 2022 tenha sido identificada como principal preocupação a anómala subida de preços das matérias-primas, da energia e dos materiais de construção.

Tabela 5.1 - Percentagem de Industriais da Construção que identifica a falta de mão-de-obra especializada como o principal constrangimento à sua atividade (2021 e 1.º trimestre de 2022)

Trimestre	Segmento das obras privadas	Segmento das obras públicas
1º de 2021	75%	67%
2º de 2021	79%	63%
3º de 2021	79%	73%
4º de 2021	82%	70%
1.º de 2022	78%	67%

Fonte: AICCOPN

Se este quadro é geral para o setor da construção, pode inferir-se uma situação análoga para a Reabilitação Urbana que representava já, no 2º trimestre de 2021, 34% da faturação global (Figura 5.2). No 3º trimestre há uma ligeira descida, o mesmo acontecendo para a construção de edifícios. Já no 4.º trimestre verifica-se que o segmento da reabilitação volta a ter uma descida, embora menos acentuada, enquanto o segmento da construção apresenta um ligeiro aumento, o que denota neste trimestre uma pequena desaceleração do ritmo de obras de reabilitação face à construção de novos edifícios. Já no 1.º trimestre de 2022 verifica-se novo incremento das obras de reabilitação, colocando este segmento ao nível do atingido no 3.º trimestre de 2021. No entanto, segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021,

devido aos fundos europeus e incentivos financeiros para a reabilitação energética, prevê-se que este setor continue a crescer, pois o parque edificado construído até 2018 tem que ser reabilitado energeticamente até 2050.



Figura 5.2 - Principais segmentos de atividades em termos de faturação  
Fonte: AICCOPN

### 5.2.2 Causas da falta de recursos humanos

As principais causas da falta de recursos humanos, quer na construção, quer mais especificamente na reabilitação são as seguintes: volatilidade (emigração, mudança de profissão, deslocalização devido à internacionalização de empresas portuguesas), envelhecimento, necessidade de incremento da valorização da profissão em si combatendo o estigma que lhe é associado e o défice de reconhecimento e valorização profissional, de formação avançada, das condições de trabalho e da participação e envolvimento dos trabalhadores nos projetos.

Segundo dados do INE (2021), a crise de 2008 teve como consequência a falência de 1142 empresas do setor da construção nesse ano e de um total de 6945 até 2021, tendo sido criadas nesse mesmo período 3457, o que mesmo assim corresponde a um défice de 3488 empresas. Isto teve como consequência uma grande volatilidade da sua força de trabalho, com a saída de trabalhadores do sector que mudaram para outros setores ou emigraram.

Por outro lado, muitos dos trabalhadores qualificados que permaneceram no país estão a aproximar-se da idade da reforma. Simultaneamente, assiste-se no setor ao envelhecimento e aumento da idade média dos trabalhadores, dado que esta situação não está a ser colmatada com a inclusão de recursos humanos qualificados mais jovens.

Atualmente os jovens sentem-se mais atraídos por cursos ligados à informática e à eletricidade e menos atraídos por cursos como os de medidores-orçamentistas, técnicos de obra, desenhadores, entre outros, existindo centros de formação, que embora aumentando a sua oferta formativa para responder à elevada procura/necessidade por parte das empresas, não conseguem captar um número mínimo de formandos para que vários desses cursos possam funcionar (Pinto, I., 2019).

No que diz respeito ao recurso humano Engenheiros Civis, é notória e pública a falta destes profissionais, que se reflete na procura dos cursos de Engenharia Civil nas Instituições de Ensino Superior do País na 1ª, 2ª e 3ª fases (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Alunos colocados através do CNAES em Engenharia Civil em Instituições Públicas de Ensino Superior na 1ª, 2ª e 3ª fases

Ano	Número de alunos
2010	1818
2011	1548
2012	767
2013	425
2014	319
2015	521
2016	581
2017	646
2018	602
2019	582
2020	689
2021	665

Os trabalhadores da construção civil são, ainda hoje, uma classe profissional discriminada, que serve, aos olhos de muitos, apenas para realizar trabalhos físicos e pesados, sendo rotulados como mão-de-obra não qualificada, e sendo desprezados os seus conhecimentos e saberes aprendidos durante anos de experiência como profissionais (Rego, A. e Cunha, M. P., 2015).

Existe ainda uma ideia culturalmente imposta de que o trabalho na construção é, necessariamente, uma última opção profissional, sendo visto muitas vezes como um castigo e como uma profissão menor. Além disso, em vários casos, o vínculo laboral é precário, não dando perspectivas de estabilidade futura.

Por outro lado, a cultura dominante das lideranças é ainda a de manter os trabalhadores distantes das decisões.

O conceito de liderança participativa, e consequente inclusão dos liderados nas tomadas de decisão e no Projeto da empresa é, ainda hoje, em várias empresas Portuguesas uma abordagem pouco praticada, subvalorizando-se assim, os conhecimentos, ideias ou pontos de vista dos trabalhadores, o que leva à sua desmotivação. O próprio trabalhador não demonstra, na maior parte das vezes, vontade em participar neste processo, já que considera que as suas funções envolvem simplesmente a execução do que foi superiormente decidido.

Em relação às remunerações do sector, elas têm vindo a aumentar ao longo do tempo, como se pode observar no gráfico da Figura 5.3.

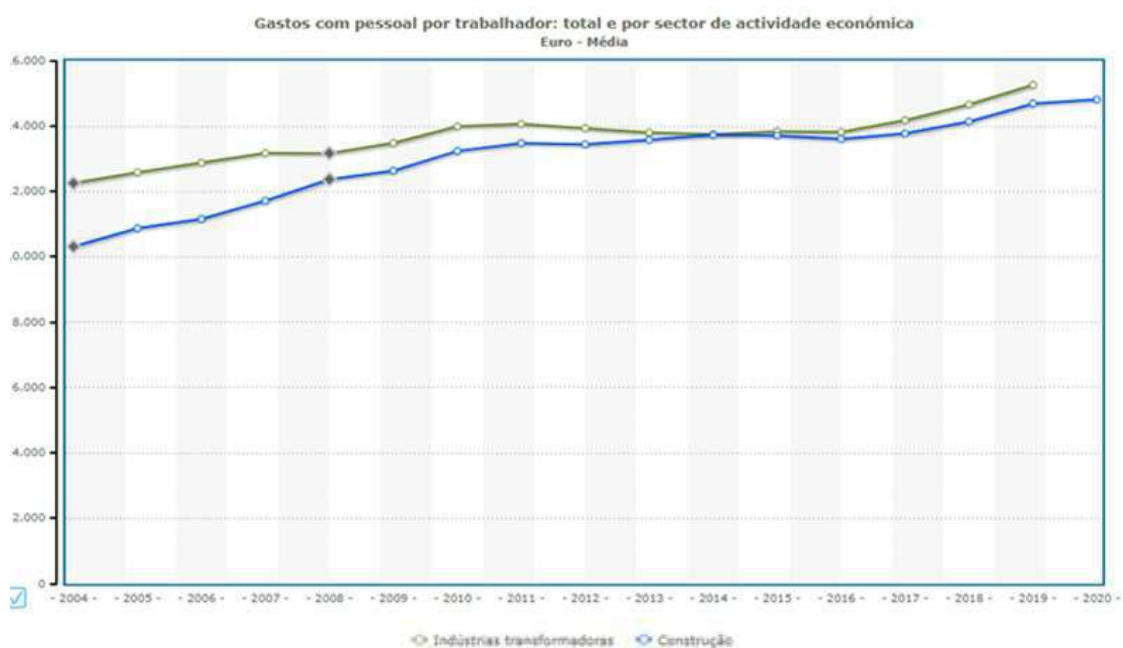


Figura 5.3 - Gastos com pessoal por trabalhador no setor da construção e o valor médio nacional  
Fonte: PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo. Gastos com pessoal por trabalhador

Na Tabela 5.3 apresenta-se a evolução dos salários por grupo profissional na construção desde outubro de 2015 a outubro de 2021.

Tabela 5.3 - Taxas de salário mensal segundo o grupo profissional (Outubro de 2015 a outubro de 2021)

Salários por Profissão na Construção																
	Engenheiro Civil	Encarregado de Construção	Pedreiro	Armadador de Ferro	Capomoin de Ligeira e de Trabalho	Esplachador de Betão	Ladrilheiro	Ebriteiro	Canalizador	Pintor de Construção	Serralheiro Civil	Eletricista de Construção e Instalações	Montador de estruturas de Metalositas	Operador de Máquinas de Escavação e de Obras, Guindastes e Similares	Tecnólogo Qualificado de Engenharia Civil e de Construção de Edifícios	Total
out-15	1 864,66 €	1 217,74 €	771,14 €	730,41 €	757,39 €	737,89 €	757,15 €	748,87 €	879,02 €	776,34 €	891,36 €	897,53 €	844,77 €	807,41 €	717,19 €	899,23 €
jan-16	1 889,16 €	1 206,71 €	732,21 €	729,30 €	773,79 €	736,53 €	777,86 €	736,58 €	834,85 €	738,24 €	853,28 €	891,11 €	831,00 €	801,26 €	713,15 €	897,84 €
abr-16	1 878,10 €	1 205,89 €	742,81 €	736,23 €	778,97 €	720,26 €	763,01 €	738,86 €	803,11 €	733,62 €	863,33 €	829,30 €	832,68 €	809,81 €	718,08 €	901,87 €
jul-16	1 826,47 €	1 217,00 €	745,32 €	740,52 €	776,81 €	736,07 €	743,95 €	733,22 €	831,30 €	747,84 €	877,26 €	813,39 €	848,55 €	812,33 €	727,13 €	902,73 €
out-16	1 849,69 €	1 220,34 €	747,11 €	739,33 €	771,28 €	742,20 €	747,80 €	738,20 €	829,34 €	743,10 €	886,55 €	881,58 €	840,69 €	814,83 €	716,08 €	899,77 €
jan-17	1 887,10 €	1 240,70 €	752,10 €	753,00 €	779,00 €	758,50 €	765,80 €	768,10 €	888,00 €	768,70 €	872,00 €	880,60 €	840,70 €	822,90 €	721,80 €	914,19 €
abr-17	1 866,80 €	1 226,20 €	747,90 €	748,90 €	770,20 €	751,20 €	770,80 €	763,80 €	847,70 €	759,00 €	870,80 €	851,20 €	836,80 €	820,20 €	720,30 €	906,06 €
jul-17	1 851,40 €	1 234,90 €	768,70 €	754,70 €	811,30 €	773,80 €	777,80 €	762,10 €	853,00 €	770,70 €	894,10 €	852,80 €	847,20 €	820,80 €	747,80 €	923,86 €
out-17	1 857,04 €	1 249,49 €	769,80 €	757,40 €	794,90 €	764,90 €	773,20 €	765,10 €	844,10 €	773,80 €	905,00 €	896,70 €	851,30 €	832,70 €	743,10 €	924,79 €
jan-18	1 793,70 €	1 247,00 €	769,30 €	759,30 €	809,80 €	806,10 €	794,40 €	791,00 €	876,10 €	776,10 €	889,40 €	899,10 €	864,40 €	852,70 €	767,60 €	939,39 €
abr-18	1 787,00 €	1 223,80 €	781,80 €	765,80 €	819,80 €	815,20 €	797,80 €	793,70 €	876,00 €	780,90 €	899,30 €	872,00 €	861,30 €	847,70 €	758,80 €	927,89 €
jul-18	1 800,70 €	1 247,00 €	792,00 €	772,80 €	818,70 €	820,80 €	818,00 €	791,00 €	882,80 €	787,80 €	913,80 €	873,00 €	863,80 €	849,80 €	768,00 €	937,18 €
out-18	1 822,10 €	1 260,70 €	786,60 €	784,80 €	829,80 €	832,20 €	813,80 €	794,10 €	887,80 €	791,00 €	906,30 €	877,60 €	874,80 €	868,30 €	768,80 €	946,96 €
jan-19	1 889,70 €	1 273,80 €	811,10 €	799,80 €	843,80 €	853,20 €	838,70 €	821,30 €	899,80 €	814,80 €	910,20 €	948,70 €	906,70 €	896,30 €	785,20 €	963,86 €
abr-19	1 852,00 €	1 279,20 €	813,00 €	796,00 €	848,10 €	856,00 €	840,80 €	821,80 €	895,80 €	809,20 €	911,70 €	938,00 €	905,80 €	888,20 €	796,10 €	968,86 €
jul-19	1 887,40 €	1 294,80 €	827,90 €	803,00 €	859,80 €	862,30 €	837,80 €	826,10 €	903,80 €	814,80 €	928,10 €	938,70 €	931,11 €	904,80 €	793,10 €	974,76 €
out-19	1 829,80 €	1 317,10 €	831,20 €	811,20 €	887,20 €	848,80 €	824,80 €	839,80 €	921,80 €	819,80 €	944,80 €	947,00 €	932,80 €	919,80 €	799,70 €	983,86 €
jan-20	1 914,00 €	1 339,80 €	843,20 €	827,80 €	876,20 €	890,70 €	837,00 €	873,00 €	954,80 €	814,80 €	948,10 €	947,20 €	949,80 €	931,10 €	804,80 €	997,06 €
abr-20	1 918,00 €	1 318,40 €	852,80 €	819,10 €	889,40 €	889,30 €	878,10 €	851,80 €	939,80 €	841,10 €	937,10 €	964,10 €	957,20 €	943,70 €	813,80 €	1 009,19 €
jul-20	1 933,70 €	1 342,80 €	863,30 €	834,40 €	870,80 €	893,80 €	878,80 €	867,80 €	948,80 €	849,10 €	963,30 €	984,20 €	940,80 €	943,70 €	820,70 €	1 019,89 €
out-20	1 976,60 €	1 339,80 €	882,20 €	843,20 €	886,10 €	914,10 €	890,80 €	844,80 €	917,20 €	847,00 €	979,80 €	947,10 €	958,40 €	970,80 €	820,40 €	1 052,18 €
jan-21	2 098,20 €	1 362,80 €	874,00 €	861,30 €	902,80 €	921,10 €	923,30 €	864,80 €	941,80 €	868,80 €	998,70 €	974,80 €	978,10 €	989,80 €	841,80 €	1 038,16 €
abr-21	1 889,00 €	1 383,80 €	874,30 €	858,90 €	918,20 €	918,80 €	920,40 €	864,70 €	943,80 €	867,80 €	999,80 €	972,80 €	1 002,20 €	943,80 €	842,80 €	1 029,36 €
jul-21	2 028,80 €	1 394,10 €	876,10 €	857,80 €	907,30 €	934,90 €	926,80 €	867,10 €	948,10 €	868,10 €	1 003,80 €	980,80 €	1 001,80 €	1 010,70 €	848,80 €	1 034,36 €
out-21	2 139,80 €	1 384,30 €	893,20 €	882,10 €	926,30 €	934,80 €	948,80 €	847,80 €	997,80 €	1 000,10 €	994,80 €	1 010,10 €	1 016,10 €	892,30 €	1 038,76 €	

Fonte: Gabinete de Estratégia e Planeamento

Repare-se que houve um aumento dos salários durante o período de tempo em análise.

De acordo com o Gabinete de Estratégia e Planeamento (GEP), o salário médio mensal do sector era em outubro de 2021 de 1038,7 euros, incluindo encarregados de obra e engenheiros civis.

Como evidencia a Tabela 5.4 da mesma fonte, o valor do salário médio mensal dos engenheiros civis era de 2039,8 euros, e dos operários qualificados de 925,3 euros. O valor mais elevado pago a estes dois tipos de profissionais ocorre nas grandes empresas.

Tabela 5.4 -Taxas de salário mensal segundo o grupo profissional (Julho 2021)

Especificações	Distribuição dos trabalhadores (%)	Engenheiro Civil	Encarregado de obras	Operários de Construção	
				Qualificados	Não Qualificados
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	<b>2039,8</b>	<b>1394,1</b>	<b>925,3</b>	<b>846,9</b>
<b>Por dimensão da empresa</b>					
Micro empresas (menos de 10 TCO)	31,2	1485,1	1143,8	871,4	821,8
Pequenas empresas (10 - 49 TCO)	38,6	1720,5	1287,0	936,4	856,8
Médias empresas (50 - 249 TCO)	20,5	2376,0	1556,7	969,1	870,8
Grandes empresas (250 ou mais TCO)	9,7	2469,2	1532,1	995,1	848,4
<b>Por região NUTS II</b>					
Norte	44,8	1929,2	1323,8	905,6	842,2
Centro	23,6	1699,2	1312,6	938,7	851,8
Área Metropolitana de Lisboa	21,9	2495,4	1554,4	944,1	845,3
Alentejo	4,4	1642,2	1328,4	936,3	848,8
Algarve	5,2	1652,1	1466,1	940,3	873,1

Fonte: Gabinete de Estratégia e Planeamento

Em contrapartida as médias empresas são as que pagam um valor médio mensal mais elevado aos trabalhadores não qualificados (870,8 euros) e aos encarregados de obra (1556,7 euros). As micro e pequenas empresas pagam os valores mais baixos de remunerações referentes a todos os grupos profissionais.

Salienta-se que a diferença da remuneração média mensal entre os trabalhadores qualificados (925,3 euros) e não qualificados (846,9 euros) é de apenas 9,25 %, o que dificulta a motivação do trabalhador para frequentar cursos de formação especializada.

Relativamente aos Engenheiros Civis, segundo Santos, F. A. (2021), em dezembro de 2021 estava-se a passar por uma situação anómala, pois mesmo existindo muita falta desses profissionais, pelas leis do mercado os salários deveriam ser mais altos para atrair mais pessoas para o setor, embora o salário médio não seja propriamente baixo.

Verifica-se, no entanto, que algumas empresas, aos Engenheiros que se encontram em obra e deslocados da sede da empresa, lhes pagam o alojamento. Outro dos acréscimos do salário é a disponibilização de carro, combustível, telemóvel e computador. Outras empresas ainda atribuem um prémio em função dos objetivos alcançados, tais como o décimo quinto mês, cujo valor depende dos objetivos alcançados pelo trabalhador.

Note-se que a produtividade do trabalho tem vindo a aumentar muito paulatinamente e abaixo da indústria transformadora em geral (Figura 5.4). Estes valores podem eventualmente explicar, em parte, a existência de salários não muito elevados, praticados, em geral, na construção.

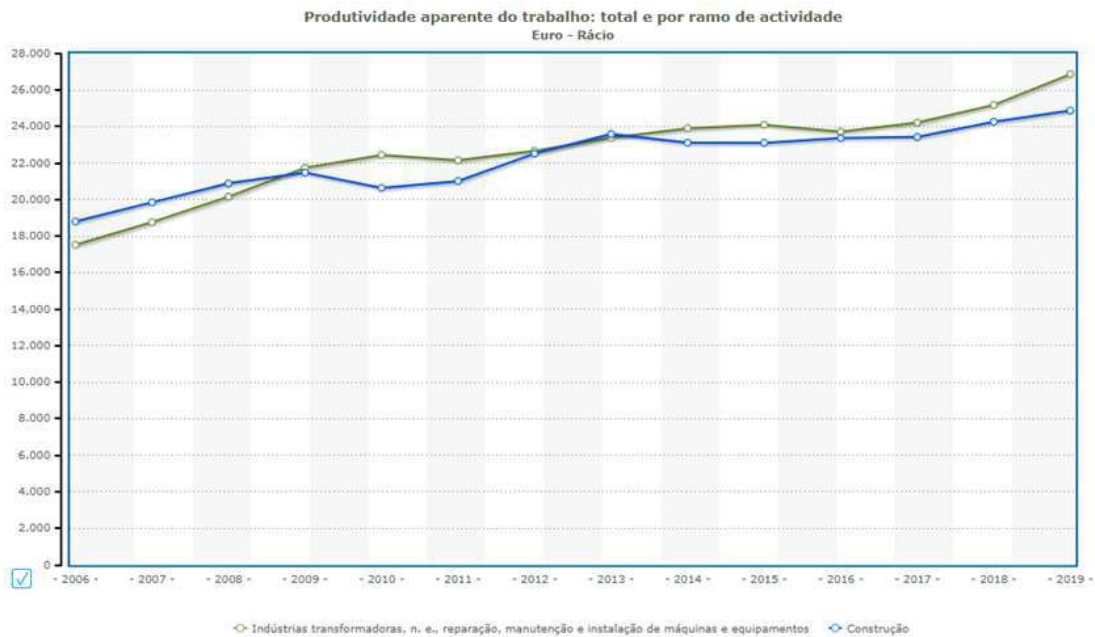


Figura 5.4 - Produtividade aparente do trabalhador no setor da construção e o valor médio nacional  
Fonte: PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo. Produtividade aparente do trabalhador

A valorização dos trabalhadores passa também pela formação. As entidades que dão formação ao nível das várias profissões no sector da construção e da reabilitação (exceto na profissão de Engenheiro Civil) são tradicionalmente o Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Norte (CICCOPN) e o Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Sul (CENFIC), sem colocar de parte outras entidades como a Escola Profissional de Setúbal, a Escola Profissional de Recuperação do Património de Sintra, a Escola Profissional de Arqueologia de Marco de Canaveses, a Árvore – Escola Artística e Profissional, a Associação Recreativa de Coimbra Artística-ARCA, Instituto de Artes e Ofícios da Fundação Ricardo Espírito Santo Silva, entre outros.

Em 2019, de acordo com o GEP (2022), o número de empresas de construção que procuraram formação para os seus trabalhadores foi de 3.558, representando 12,7% do total das empresas do sector. Por sua vez estas formações abrangeram 53.845 trabalhadores, ou seja 24,4 % do total de trabalhadores do sector.

Em relação a outros setores de atividade, a construção apresenta valores baixos de participação na formação. Encontra-se na 4ª e 5ª posição mais baixa para o número de empresas e para o número de trabalhadores, respetivamente.

No campo específico da reabilitação, os “antigos saberes” de artesãos que trabalhavam nesta área estão em perda, devido ao envelhecimento desses profissionais. Apesar da existência de alguma formação nesta área, o problema essencial é a dificuldade de captação de formandos para esses cursos. Analisando o Catálogo Nacional de Qualificações (CNQ) verifica-se que em termos de oferta formativa na área da reabilitação urbana e manutenção de edifícios existe a oferta formativa indicada na Tabela 5.5.

Complementarmente e de acordo com a informação retirada do GECORPA – Grémio do Património, é possível inferir que no setor da reabilitação existem os seguintes cursos profissionais:

- 1 curso de nível 2, especializado na conservação e limpeza de cantarias e lecionado em Lisboa;
- 6 curso de nível 3, todos na área de conservação e restauro, lecionados na zona de Lisboa e Porto;
- 11 cursos de nível 4, maioritariamente na área da conservação de madeiras (incluindo mobiliário), mas também de conservação e reabilitação mais generalista, ou focados em revestimentos (estuques, pintura mural, entre outras). Estes cursos encontram-se dispersos por todo o país.

Tabela 5.5 - Oferta formativa na área de reabilitação urbana e manutenção de edifícios

<b>Unidades de Formação de Curta Duração (UFCDs)</b>		
<b>Designação</b>	<b>Código</b>	<b>Carga horária</b>
Reabilitação urbana	UFCD 5219	50h
Intervenções de reabilitação – planeamento e programação	UFCD 7868	25h
Patologias das edificações e técnicas de reabilitação	UFCD 7866	50h
Reabilitação energética e conservação de infraestruturas – atividades de construção	UFCD 7879	50h
Reabilitação energética e conservação de infraestruturas – especificações, projeto e planeamento	UFCD 7878	50h
Reabilitação energética e conservação de infraestruturas – instalação e apresentação	UFCD 7880	25h
Restauração e pintura de superfícies de madeira	UFCD 2742	50h
Reparação e preparação de superfícies exteriores	UFCD 2741	50h
Reparação e manutenção de instalações	UFCD 2846	50h
Operações de manutenção e reparação de estruturas de alvenaria	UFCD 3411	50h
Processos e métodos de manutenção e reparação de estruturas em madeira	UFCD 3406	25h
Reparação e manutenção de equipamentos	UFCD 2847	50h
Manutenção e reparação de estruturas em madeira	UFCD 10607	25h
Reabilitação de superfícies de alvenaria	UFCD 10606	50h
Reabilitação em estruturas de alvenaria	UFCD 10605	50h
<b>Cursos de qualificação de dupla certificação</b>		
<b>Designação</b>	<b>Nível</b>	<b>Carga horária</b>
Técnico/a Especialista em Conservação e Restauro de Madeira	Nível 5 QNQ/QEQ	1500h
Técnico Especialista em Reabilitação Energética e Conservação de Infraestruturas - Edificações	Nível 5 QNQ/QEQ	1450h

Fonte - Catálogo Nacional de Qualificações

Esta quantidade de cursos e a sua tipologia manifestam clara insuficiência tendo em conta a necessidade de mercado em termos de técnicos especializados nesta área. Cursos especializados existentes no passado, como por exemplo o de “Mestre de Construção Civil Tradicional, Nível 3” lecionado na Escola de Artes e Ofícios Tradicionais de Serpa já não estão em funcionamento, apesar de terem formado técnicos que se incorporaram no mercado de trabalho.

Em termos de licenciaturas, mestrados e doutoramentos ligados ao setor da reabilitação, verifica-se uma preponderância de cursos de Conservação e Restauro, mas também alguns cursos com ligação à Engenharia Civil e à Arquitetura.

No caso dos engenheiros civis são as entidades de ensino superior que formam estes profissionais, havendo cursos de Engenharia Civil disponíveis em todo o país ao nível de Licenciatura e Mestrado. Ao nível de Mestrado também existem alguns cursos sobre Reabilitação. Ao nível da Reabilitação 4.0 muitos destes cursos já integram algumas unidades curriculares sobre BIM (Building Information Modeling). A Ordem dos Engenheiros, alguns centros de formação e algumas empresas particulares também disponibilizam cursos sobre BIM.

Tendo em conta a realidade existente noutros países europeus, aponta-se que no Reino Unido estão disponíveis os cursos de *Available specialist applied-skills programmes (SAP)*, com uma ligação direta ao meio empresarial e que oferecem formações com competências variadas na área da reabilitação. Alguns exemplos destes cursos são “Técnico de preservação de fachadas”, “Pedreiro de património”, “Técnico de chaminés”, entre outros.

Comparando o panorama em Portugal com o do Reino Unido, onde existe uma formação bastante alargada, tendo em conta técnicas tradicionais e necessidades atuais de intervenção, é relevante preencher essa lacuna de formação a nível nacional.

Finalmente uma nota sobre o mercado de trabalho da construção e as mulheres. Não sendo um mercado de trabalho “típico” para mulheres, o setor da construção em Portugal tem evoluído em termos de empregabilidade feminina. Num artigo do Diário de Notícias, da autoria de Inácio, A. M. (2019) é apresentado o percurso de mulheres com vários níveis de formação na área da construção. Não obstante ainda existir algum preconceito associado, tem aumentado o número de mulheres em cursos de formação e cursos superiores relacionados com a construção civil, sendo afirmado que em 2018 existiam em Portugal mais de 22.000 mulheres a trabalhar no setor.

O mercado da reabilitação é particularmente atraente para um público feminino que frequenta cursos de formação ou cursos superiores ligados à conservação e restauro e trabalha depois no âmbito da conservação e reabilitação do património imóvel abarcando áreas tão díspares como pintura mural, rebocos, estuques, talha, colocação de azulejos, entre outros.

Um exemplo de que as mulheres estão a entrar no setor é o recente projeto “Mulheres em Construção” (IEFP, 2021) que pretende dotar as mulheres do Bairro de Santiago, em Aveiro, de competências para intervir nesta área. Verifica-se que esta formação pode ser útil a grupos de mulheres com níveis de escolaridade mais baixos, mas também para mulheres com elevados níveis de escolaridade e que querem ingressar numa nova área de trabalho (reabilitação de edifícios).

### **5.3 Estratégias para a resolução da situação atual de falta de recursos humanos especializados**

Reis Campos (2019) aponta as seguintes estratégias fundamentais no sentido da resolução do problema já definido da falta de recursos humanos especializados:

- 1º - Criação de uma estratégia de atração de jovens qualificados para o Setor da Construção;
- 2º - Os Centros de Formação Profissional, como é o caso do CICCOPN, são a melhor forma de assegurar uma efetiva ligação da formação profissional às necessidades de mão-de-obra especializada nas empresas e uma efetiva potenciação da ligação aos Países de Língua Oficial Portuguesa, através de protocolos e acordos subscritos pelos respetivos governos no sentido de captar jovens oriundos desses países para a frequência de cursos de formação profissional em Portugal;
- 3º - Criação de um Regime Especial de Mobilidade Transnacional, que permita às empresas nacionais trazer para Portugal trabalhadores que já estão, atualmente, a trabalhar em empresas portuguesas instaladas no exterior;
- 4º - Promover a recolocação no mercado de trabalho dos 20320 profissionais oriundos da Construção que se encontravam registados, em fevereiro de 2022 no Instituto do Emprego e Formação Profissional (IEFP, 2021).

No sentido de se dar provimento às estratégias referidas anteriormente e deste modo criar condições para a atratividade e retenção de profissionais no setor da construção e obras públicas, propõem-se as seguintes iniciativas:

1 - Para a criação de uma estratégia de atração de jovens qualificados para Setor da Construção propõe-se o desenvolvimento em parceria com o Governo da República Portuguesa, que previamente deve ser sensibilizado para este problema grave, que é transversal ao setor da reabilitação, construção e obras públicas, de uma forte campanha de promoção do setor, direcionada para os jovens, que deverá ser operacionalizada em diversos meios, com relevância para comunicação social (televisão, rádio, jornais e redes sociais) em que se deverá passar uma imagem de um setor moderno a preparar-se para os novos paradigmas tecnológicos (BIM por exemplo) e não um setor que tem ainda a imagem de ter parado no tempo, sem evolução tecnológica, com más condições de trabalho e sem perspetiva de evolução na carreira profissional. Estas campanhas deverão ser igualmente realizadas nas escolas por intermédio de cartazes e palestras alusivas ao setor. No respeitante à evolução da carreira profissional e das condições de trabalho será necessário junto das empresas do setor sensibilizar as mesmas para a necessidade de em algumas delas se trabalharem no sentido de melhorar, não só as remunerações salariais, mas igualmente as condições de trabalho oferecidas aos profissionais, nomeadamente no que respeita aos estaleiros (instalações sanitárias com balneários, armários individualizados para a colocação de pertences e mudas de roupa, entre outros);

2 - Os Centros de Formação Profissional, como é o caso do CICCOPN e do CENFIC, serão a melhor forma de assegurar uma efetiva ligação da formação profissional às necessidades de mão-de-obra especializada nas empresas e uma efetiva potenciação da ligação aos Países de Língua Oficial Portuguesa, através de protocolos e acordos subscritos pelos respetivos governos no sentido de captar jovens oriundos desses países para a frequência de cursos de formação profissional em Portugal. Para atingir esta 2.ª estratégia propõe-se que os centros de formação profissional do setor (sobretudo o CICCOPN na Maia e o CENFIC em Lisboa) em parceria com o IEFP, desenvolvam cursos de formação profissional mais adaptados às exigências atuais do setor da reabilitação, onde se verifica escassez de oferta de cursos especializados nas várias valências que este subsetor exige. Reis Campos (2019) propõe, pois, uma reorientação da formação profissional. Paralelamente é necessário em parceria com a CPLP e os respetivos Governos, que recentemente (CPLP, 2021) têm desenvolvido iniciativas no sentido de potenciar a mobilidade dos cidadãos desta comunidade pelos Países que a integram, desenvolver acordos e protocolos no sentido de potenciar a vinda de jovens desses Países para os centros de formação profissional

da área da construção em Portugal, apresentando-lhes essa possibilidade como sendo uma oportunidade interessante para a carreira desses jovens, num país que fala a sua língua materna e que tem na maioria dos casos ligações aos ascendentes familiares. Faz-se notar que o CICCOPN tem nos últimos tempos trabalhado ativamente neste desígnio, sendo que no ano letivo 2021/2022 tem inúmeros formandos oriundos de Países da CPLP. Este trabalho deverá ainda ser incrementado pelos vários centros de formação profissional do setor existentes em Portugal, resolvendo-se, em parceria com o Governo Português e as respetivas Autarquias, situações pertinentes para a vinda desses jovens como é o caso das necessidades de alojamentos de aqueles que deles precisam, mas que muitas vezes não têm possibilidade para os pagar.

A esse respeito, realça-se um trabalho meritório do CICCOPN que dentro das suas instalações tem potenciado a oferta de dormitórios e dos seus serviços de cantina. Será igualmente necessário que o acompanhamento desses jovens seja realizado com a necessária proximidade. Em particular na componente de estágio desses jovens nas empresas, de modo que eles tenham o desempenho adequado. Será também importante que as empresas apoiem na resolução de problemas de transporte e alojamento, bem como de alguns problemas inerentes a eventuais competências que as empresas detetem estarem em falta, para um bom desempenho das funções necessárias de trabalho. Esta abordagem tornará mais provável e com maior sucesso a futura contratação.

Um dos aspetos relevantes, que ajudará à concretização destes objetivos, e que recentemente se tem desenvolvido a nível da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) é a implementação da flexibilização da mobilidade dos seus cidadãos (CPLP, 2021). Um dos marcos importantes deste processo foi a Resolução sobre o Acordo sobre a Mobilidade entre os Estados-Membros da CPLP efetuada na XXVI Reunião Ordinária do Conselho de Ministros da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa, em Luanda a 16 de julho de 2021. Este acordo foi já ratificado por Cabo Verde, São Tomé e Príncipe, Portugal, Guiné-Bissau, Moçambique, Brasil, Angola e mais recentemente por Timor-Leste, sendo estar para muito breve a ratificação por parte da Guiné Equatorial. É, pois uma situação que por ser historicamente de grande relevância permitirá, de uma forma inequívoca, aproximar os povos irmãos que partilham a língua e as suas culturas em português e trará oportunidades para o setor da construção e reabilitação de edifícios e infraestruturas em Portugal, nomeadamente tornando possível, com mais facilidade, atrair para Portugal recursos humanos provenientes desses Países.

Deve-se, igualmente, realçar a Lei n.º 20/98, de 12 de maio, que estabelece a regulamentação do trabalho de estrangeiros em território português, consagrando para os cidadãos estrangeiros

com residência ou permanência legal no território português a igualdade de condições de trabalho às dos trabalhadores de nacionalidade portuguesa. A contratação de trabalhadores estrangeiros está sujeita ao cumprimento de algumas formalidades, das quais estão isentas as situações que façam parte do contrato, como é o caso de trabalhadores naturais de alguns países cujo estatuto impõe tal ressalva.

São isentos deste procedimento legislativo em Portugal os trabalhadores provenientes da União Europeia; Islândia; Liechtenstein; Noruega; Suíça; Turquia; Brasil, caso tenham requerido o estatuto de igualdade de direitos; Cabo Verde; Guiné-Bissau; São Tomé e Príncipe e Reino Unido (desde que protegidos pelo Acordo de Saída).

Sempre que uma empresa contrate um trabalhador estrangeiro a entidade empregadora deve comunicar o contrato feito com esse trabalhador para a ACT (Autoridade para as Condições do Trabalho). Para que essa comunicação possa ser feita é necessário que a entidade empregadora se registre na página da ACT para obter um código de acesso, que permitirá à entidade empregadora autenticar-se, colocando o seu número de identificação fiscal e o código enviado pela ACT, sempre que necessite comunicar a contratação de um trabalhador estrangeiro pela sua empresa.

É importante saber como funciona o destacamento de trabalhadores para Portugal e em Portugal, pois existem leis próprias com o objetivo de proteger os trabalhadores.

3 - A 3ª estratégia consiste na criação de um Regime Especial de Mobilidade Transnacional, que permita às empresas nacionais trazer para Portugal trabalhadores que já estão, atualmente, a trabalhar em empresas portuguesas instaladas no exterior. Para o implementar propõe-se que em parceria com o Governo Português e com as empresas sejam desenvolvidos programas de apoio ao retorno de trabalhadores Portugueses que, fruto da grande crise do setor em 2008 e anos seguintes, foram trabalhar para outros países, muitos deles em empresas estrangeiras do mesmo setor ou em empresas nacionais que conseguiram internacionalizar-se e deslocar os seus trabalhadores. Ainda existem os trabalhadores que migraram para outras atividades (em Portugal e/ou no estrangeiro) por falência das empresas em que estavam a trabalhar. Deste modo será necessário realizar um trabalho exaustivo de levantamento da situação desses trabalhadores que abandonaram o setor ou que não o abandonando tiveram de emigrar pelos seus próprios meios ou pela iniciativa das próprias empresas para as quais trabalhavam e desenvolver programas de apoio para que eles possam retornar a Portugal e ao setor aproveitando assim os conhecimentos e competências que estes trabalhadores detêm e que

não estão colocados ao serviço da construção e reabilitação em território Nacional, num momento que os mesmos são tão necessários.

4 - A 4ª estratégia consiste em promover a recolocação no mercado de trabalho dos cerca de 20.320 profissionais oriundos da Construção, que se encontravam registados, de acordo com os dados de fevereiro de 2022, no IEFP. Esta estratégia está ligada à anterior. Propõe-se que os profissionais do setor desempregados (que em 2020, de acordo com a AICCOPN, atingiram o número de 24300) possam ser identificados e caracterizados pelas competências que detêm. Assim mesmo, propõe-se que exista um departamento especializado no IEFP/centros de emprego que faça a gestão dos profissionais do setor inscritos nos centros de emprego e que, em ligação direta com as respetivas empresas possa suprir as necessidades destas de mão-de-obra especializada. Será igualmente necessário que os vários centros de emprego sejam sensibilizados para que esses profissionais desempregados sejam de imediato inseridos nas empresas de construção que deles carecem ou que sejam inseridos em cursos de formação profissional no sentido da atualização dos seus conhecimentos, nomeadamente nas áreas da reabilitação urbana e que não sejam direcionados para outras atividades e/ou outros cursos de formação profissional respeitantes a áreas que em nada têm a ver com a construção, evitando-se, assim, a saída destes profissionais para outros setores completamente diferentes do setor em que sempre trabalharam.

No respeitante a esta última estratégia, a ação dos Centros de Formação Profissional, como o CICCOPN e o CENFIC, é decisiva para a qualificação da mão-de-obra existente e conseqüente valorização da mesma (Reis Campos, 2021), preparando-a devidamente para os novos desafios da construção, sejam eles a Eficiência Energética, a Reabilitação Urbana, entre outros. Seria também importante que o IEFP, como organismo público de combate ao desemprego, em coordenação com os Centros de Formação Profissional, realizasse cursos de formação para a reconversão de trabalhadores, sejam eles oriundos de outras áreas profissionais ou mesmo da área da construção (que não seja reabilitação), para o setor da Reabilitação.

Outra estratégia passaria por reativar os cursos médios profissionalizantes, antigamente lecionados nas escolas industriais/comerciais, já que estas instituições desempenhavam um papel fundamental de formação de jovens nas mais diversas áreas de trabalho, desenvolvendo as suas competências com base num método essencialmente prático de ensino, que os preparava e qualificava da melhor forma, tanto para o mercado de trabalho como para o Ensino Superior. A formação de mão-de-obra qualificada é essencial e é uma das maiores lacunas no

setor da Construção, em particular no setor da Reabilitação Urbana sendo por isso essencial tomar medidas para reverter esta realidade.

#### **5.4 Desafios da Reabilitação 4.0 no mercado de trabalho**

A 4ª revolução industrial no mercado de trabalho da reabilitação vai criar novos desafios para o setor, os quais poderão inclusivamente ajudar a colmatar alguns dos problemas existentes ao nível dos recursos humanos, já referidos no ponto anterior, como a atratividade do setor e a inclusão das mulheres e jovens, mas também vai implicar uma grande capacidade de mudança e adaptação, quer ao nível das empresas, quer dos trabalhadores.

A introdução de novas tecnologias (softwares, robôs, impressoras 3D, entre outros) já está a tornar (e irá tornar cada vez mais) necessário que os trabalhadores possuam capacidade para operar com as mesmas. Assim, os trabalhadores que não sejam capazes de as utilizar tenderão a ser progressivamente excluídos ou relegados para um segundo plano.

A Revolução 4.0 no setor da reabilitação será uma ótima oportunidade para captar recursos humanos qualificados para o setor, tornando-o mais apelativo para muitos jovens trabalhadores qualificados que procuram um trabalho mais adaptado às novas tecnologias. A evolução tecnológica irá também permitir que muitos dos trabalhos mais pesados possam ser realizados por equipamentos automatizados, melhorando assim as condições de trabalho dos trabalhadores e fazendo com que estas profissões sejam mais valorizadas pela sociedade e mais atrativas inclusivamente para as mulheres.

Por outro lado, a realização de algumas tarefas menos complexas poderá necessitar de menos mão-de-obra, pelo que, por critérios de aumento de produtividade e competitividade, se poderá assistir à redução de alguns postos de trabalho, sobretudo daqueles que assentam em tarefas mais repetitivas e que requerem trabalhadores com menores qualificações (dependendo do tipo de reabilitação, esta situação poderá ser diferenciada).

Entretanto, dada a carência nas empresas de trabalhadores devidamente preparados para operarem com as novas tecnologias (um dos exemplos evidentes é o BIM), muitas das quais implicam inclusivamente a criação de novas profissões, já se verifica e verificar-se-á cada vez mais, a realização de cursos de formação para os quadros das empresas (sobretudo visando a aprendizagem da utilização das inovações tecnológicas) e ao mesmo tempo a contratação de novos trabalhadores (atração de talento, geralmente jovem). As empresas procuram e

procurarão assim reforçar o conhecimento e as competências dos seus colaboradores face aos requisitos da Reabilitação 4.0.

#### **5.4.1 Reequacionar a formação e as profissões**

Se o setor já se vinha debatendo com falta de recursos humanos, em particular com escassez de profissionais capazes de executar funções mais especializadas e com maior grau de conhecimento, o desenvolvimento da Reabilitação 4.0 vem agravar este cenário, dado que vai exigir recursos humanos qualificados e especializados, não só nas áreas mais tradicionais, como também em áreas emergentes e para as quais, se deverá fazer o levantamento das formações que serão necessárias criar para ministrar aos trabalhadores, permitindo que estes se integrem com a maior facilidade possível na Reabilitação 4.0.

Por exemplo, a implementação do BIM (Building Information Modeling) através do uso de programas computacionais no projeto e gestão de obras de reabilitação, a impressão em 3D de elementos construtivos ou o emprego de equipamentos robotizados em estaleiro, entre muitas outras inovações, correspondem a avanços significativos no setor, mas implicam a existência de recursos humanos altamente especializados e formados para o efeito e capazes de operar com estas tecnologias.

Através da análise da Tabela 5.6, é possível determinar a partir das tecnologias emergentes as profissões que serão essenciais criar, sendo necessário para tal desenvolver ações de formação específicas para o desenvolvimento das necessárias competências.

Os problemas da formação são complexos e de difícil resolução. Pressupõem a aposta na formação profissional para a criação de competências, em particular na área tecnológica, que permita reconverter trabalhadores oriundos da construção e de outros setores, bem assim como atrair e formar jovens. Algumas medidas deverão ser implementadas de forma a permitir que o setor consiga competir face à grande mudança exigida pela Revolução 4.0. Será importante dotar os formandos de competências flexíveis e adaptáveis. Neste sentido, o papel do trabalho de campo incorporado na formação é fundamental (Reis Campos, 2021).

Tabela 5.6 - Profissões, processos e tecnologias emergentes na Reabilitação 4.0

	<b>Pessoas</b>	<b>Processos</b>	<b>Tecnologia</b>
<b>Projeto</b>	Arquitetos Engenheiros Modeladores de BIM Arqueólogos Conservadores/Restauradores	Design generativo Modelos de simulação para a sustentabilidade / Energia Visualização virtual para segurança no projeto Conversão de nuvens de pontos em dados BIM	Building Information Modeling (BIM) Inteligência Artificial (AI) Realidade Virtual (VR) Realidade Estendida (XR) LIDAR+SIG+BIM
<b>Documentação</b>	Arquitetos Engenheiros Empreiteiros Autoridades Municipais Pessoal para monitorizar e controlar os automatismos	Contratos Digitais Análise de sentimentos Conversão da regulamentação para digital Verificação automática das conformidades (ACC)	BIM Ambiente de dados conectados (CDE) Aprendizagem Automática (ML) Processamento de Linguagem natural (NLP)
<b>Construção</b>	Arquitetos Engenheiros Empreiteiros Controlador de documentação Pessoal para monitorizar e controlar os automatismos PMC e Auditores Arqueólogos Conservadores/Restauradores	Gestão de projeto baseada em nuvem Processamento de pagamentos através de contratos inteligentes Gestão da segurança através de <i>Leading Indicators</i>	BIM e CDE AI e Robótica Manufatura aditiva UAV Fotogrametria Blockchain AR
<b>Operação e Manutenção</b>	Engenheiro de instalações Analisador de dados Controlador de documentos Pessoal para monitorizar a controlar a automação	Análise de grande quantidade de dados Previsão das reparações Manutenção preventiva Otimização do uso de instalações	Gémeo digital (Digital Twin) Internet das coisas (Internet of Things - IoT) Sensores UAV AI e Big Data AR e XR
	<b>Nível Físico</b>	<b>Nível Ciber-Físico</b>	<b>Nível Digital</b>

Fonte - Adaptado de Karmakar, A. and Delhi, V S. K. (2021)

Para além da exigência acrescida em termos de Tecnologias de Informação (TI) sentida a nível europeu (European Construction Industry Federation, 2017), é igualmente relevante o papel “verde” das novas formações e carreiras (Rutkowska, M. e Sulich, A., 2020) no âmbito da nova realidade 4.0. Assim, a introdução de temas como a sustentabilidade dos materiais, a economia circular, a reutilização da água e a inserção de vegetação será clara neste novo contexto, nos vários níveis de formação.

Este caminho exigirá competências de *reskilling* e *upskilling*, que deverão constar dos programas formativos, especialmente no que concerne à formação ao longo da vida. A esse respeito, a reflexão da International Labour Organization (2020) realça princípios de *upskilling* e *reskilling* que devem/podem ser implementados, de forma a melhorar/aumentar o conhecimento de técnicos da área da reabilitação naquilo que são as exigências 4.0 e/ou fornecer ferramentas neste campo a técnicos com outras bases formativas.

O Plano de Recuperação e Resiliência Europeu prevê financiamento para esta tipologia de ações formativas.

No respeitante à formação na área da Reabilitação 4.0, verifica-se que existe alguma formação disponível nas áreas de BIM, Fotogrametria, Varrimento Laser e Impressão 3D, entre outros. Contudo, esta formação existe maioritariamente no nível de pós-graduação ou na forma de cursos esporádicos promovidos por entidades diversas e pouco regulados. No campo do ensino superior, com a recente reformulação, verifica-se a existência de Unidades Curriculares ligadas à Reabilitação 4.0, principalmente a nível de Mestrado. São exemplos as unidades de “Deteção Remota” do Mestrado Bolonha em Ciências e Tecnologias para o Património Cultural (IST), de “Tecnologias Digitais de Apoio ao Projeto” do Mestrado em Reabilitação do Património (UA) e de “Inovação Tecnológica nos Edifícios” do Mestrado em Engenharia Civil (UM). Tanto nos cursos de Arquitetura como de Engenharia Civil, é frequente as Unidades Curriculares de desenho ou associadas, incorporarem conhecimentos na área do BIM.

Em relação aos cursos de Licenciatura em Engenharia Civil, se bem que eles tenham, por vezes, unidades curriculares ligadas à área da reabilitação do edificado e também unidades curriculares que englobam necessidades 4.0 (como é o caso do BIM) será necessário avaliar se estas valências são suficientes para posicionar os Engenheiros Civis como profissionais aptos para uma intervenção com bases teóricas adequadas, englobando a aproximação da reabilitação às exigências 4.0.

Para todos os trabalhadores, tal como já tinha sido recomendado no Fórum Económico Mundial de 2016, as empresas deverão desenvolver iniciativas que possibilitem a manutenção e a contratação de recursos humanos que precisem, sendo essencial que promovam a valorização profissional dos seus trabalhadores, tendo a formação um papel fundamental. A promoção de uma estratégia de qualificação de recursos humanos permitirá que as empresas de construção tirem partido das inovações tecnológicas, de forma a serem mais competitivas face às suas congéneres estrangeiras.

#### **5.4.2 Atrair e manter os trabalhadores na Reabilitação 4.0**

Tendo a construção uma imagem tradicionalmente pouco apelativa para cativar trabalhadores para o setor, as empresas devem implementar práticas de contratação inteligentes (por exemplo, recorrendo às tecnologias, às universidades e aos centros de formação) como uma forma para atrair colaboradores. A implementação de parcerias entre empresas do setor e instituições académicas e centros de formação, permitirá reduzir a distância que ainda se verifica entre o conhecimento teórico dos estabelecimentos de ensino e a prática das empresas, formando e treinando recursos humanos qualificados e especializados, focados na implantação, operação e manutenção de tecnologias digitais inovadoras.

A este respeito, no Fórum Económico Mundial, realizado em 2016, foram apontadas algumas medidas para tornar o setor mais atrativo, como sejam a oferta de formação, a promoção de uma cultura de empresa, a criação de carreiras diferenciadas, a disponibilidade de benefícios sociais, a atenção às necessidades de trabalhadores mais velhos, entre outras.

Espera-se que o emprego de inovações tecnológicas associadas à Reabilitação 4.0 estimule a participação dos trabalhadores em cursos de formação, os quais permitirão aumentar a especialização funcional e melhor potencialmente as condições de trabalho nas empresas, o que contribuirá para a valorização do “status quo” dos profissionais do setor da construção.

Por forma a reduzir o “estigma social” do setor, tem de existir um esforço conjunto por parte de todos os intervenientes para mudar este paradigma, no que respeita à valorização profissional dos trabalhadores da construção, não só através da formação, mas também através da oferta de melhores condições de trabalho, relativamente às atualmente praticadas.

Trabalhadores com boas condições de trabalho, bem formados e com conhecimentos consolidados sobre a profissão que exercem, irão ter melhores remunerações e, inevitavelmente, uma afirmação social distinta, perdendo-se aos poucos a ideia socialmente estabelecida de que estes profissionais são pouco qualificados ou inferiores.

Formar equipas de alta performance, com lideranças participativas e reconhecimento dos trabalhadores permite também a sua valorização.

O reconhecimento da competência dos trabalhadores é um dos incentivos mais importantes na gestão de equipas. Não apenas os incentivos salariais, mas também a valorização e a premiação do trabalho bem realizado. Uma atitude positiva de abordagem aos resultados é essencial para

a motivação do trabalhador: reconhecer o mérito em vez de apontar o demérito. Entender os pontos fortes de cada um ajuda a direcionar pessoas para aquilo que melhor sabem fazer, evitando ao máximo situações desagradáveis tanto para o trabalhador como para a empresa.

Cada profissional deve ser avaliado com base na sua competência. Assim, como noutros setores industriais, nas empresas de Construção/Reabilitação o trabalho é desenvolvido por equipas multidisciplinares para dar resposta às exigências decorrentes de um projeto nas mais diversas áreas. Cada trabalhador, seja qual for a sua função, deve ser considerado uma peça chave para o sucesso do projeto, já que todos os envolvidos, sem exceção, contribuem com o seu conhecimento, a sua experiência e o seu profissionalismo para o resultado final.

Assim sendo, a indiferença demonstrada por muitas empresas relativamente a estas estratégias, bem como todos os outros fatores referidos anteriormente, contribuem para a desvalorização profissional e social dos trabalhadores, resultando numa falta preocupante de recursos humanos no setor. Este será também, um dos maiores entraves ao desenvolvimento do Setor da Construção/Reabilitação no futuro, um futuro marcado por grandes investimentos europeus, como o Plano de Recuperação e Resiliência, que irão exigir da parte das empresas um grande esforço organizativo (European Council, 2021).

### **5.4.3 A inclusão profissional no setor – mulheres e jovens**

É imperativo que a Construção/Reabilitação 4.0 tenha em conta a possibilidade de participação feminina, possibilitando ao mesmo tempo uma ampliação de mercado e uma formação mais abrangente, onde as Tecnologias da Informação e a sustentabilidade terão um papel chave.

Na adoção da construção e Reabilitação 4.0, à transformação tecnológica, associar-se-ão mudanças nos papéis organizacionais a desempenhar e nas responsabilidades dos trabalhadores com competências específicas. O avanço das tecnologias digitais apresenta um potencial inédito para novos perfis profissionais, incluindo a possibilidade de trazer a diversidade de género tão necessária nesta profissão dominada geralmente pelos homens.

A inovação tecnológica, como é o caso da robótica associada à inteligência artificial, está muitas vezes associada à ideia da perda de postos de trabalho e como tal de meios de subsistência para os trabalhadores da construção civil. No entanto, a sensibilização dos recursos humanos do setor da Construção/Reabilitação para os preparar para este novo paradigma de construção é um desafio fundamental, que poderá além de permitir requalificar trabalhadores tradicionais do

setor, atrair igualmente várias franjas da sociedade civil, que estão habitualmente mais afastadas do setor da Construção/Reabilitação, como é o caso das mulheres e jovens.

## **5.5 Conclusões e Recomendações**

### **5.5.1 Conclusões**

Os recursos humanos são, atualmente, um dos maiores problemas do setor da construção, sendo ainda a situação mais grave na área da Reabilitação Urbana. O futuro da construção e da reabilitação será marcado pelo desenvolvimento tecnológico e pela otimização dos edifícios e infraestruturas, tanto novos como existentes, sendo imprescindível atacar o problema fundamental de falta de recursos humanos, quer ao nível de profissionais com conhecimento das técnicas tradicionais, quer de profissionais preparados para a Reabilitação 4.0, com uma especialização e qualificação que acompanhe a evolução do setor e que responda assertivamente a todos estes novos desafios.

A Reabilitação 4.0 poderá apresentar-se como uma oportunidade para atrair jovens e mulheres no setor. No entanto, para isso, será importante que todos os intervenientes do setor desenvolvam políticas adequadas, quer ao nível da gestão de recursos humanos pelas próprias empresas que permitam aumentar a produtividade e conseqüentemente valorizar mais o trabalho (de modo a favorecer a sua atração), quer das entidades ligadas à formação (ao nível profissional e ao nível da educação superior para os engenheiros), que terão que coordenar os seus esforços para desenvolver uma oferta adequada às necessidades atuais e futuras.

Por fim, ao nível das políticas públicas, será importante equacionar o acionamento dos recentes Acordos ao nível da CPLP e das possibilidades que a legislação oferece para a contratação de recursos humanos, e ao mesmo tempo atraindo aqueles que saíram do país durante a crise e que ainda não voltaram, através de programas de captação direcionados.

### **5.5.2 Recomendações para as empresas de construção**

No que respeita às empresas do setor da Construção/Reabilitação, sugerem-se as seguintes recomendações:

- Devem investir significativamente na formação dos seus recursos humanos, em especial na área das novas tecnologias e processos relacionados com a Revolução Industrial 4.0 (as

empresas de construção encontram-se nos últimos lugares do ranking das empresas que proporcionam formação);

- Profissionalização dos gestores de recursos humanos de modo que eles tenham as competências para relacionar-se com as fontes de emprego (IEFP, centros de formação e ensino superior) e desenvolver políticas internas que permitam “dignificar” a profissão e garantir aos seus trabalhadores um apoio ao seu desenvolvimento profissional ao longo da sua carreira;

- Melhoria das condições de trabalho e de saúde e segurança;

- Formação dos seus dirigentes para uma liderança mais participativa e para a formação de equipas de alta performance com envolvimento ativo dos trabalhadores, quer nos objetivos, quer na forma de os atingir.

### **5.5.3 Recomendações para as entidades responsáveis pelo setor**

No que respeita ao IEFP e aos Centros de Formação Profissional sugerem-se as seguintes recomendações:

- O IEFP deve colocar o enfoque nas necessidades existentes de recursos humanos nos diversos setores profissionais, efetuando uma análise do perfil dos desempregados inscritos tendo em conta o seu histórico de qualificações e de experiência profissional e alocá-los aos respetivos setores;

- Se os inscritos não tiverem qualificações ou experiência para o setor alvo, então a atuação do IEFP deve ser no sentido de proporcionar cursos pertinentes para a qualificação dos desempregados para o emprego futuro e não cursos de formação aleatórios e que em nada têm a ver com o respetivo percurso de vida e profissional. Não faz sentido existirem 20.320 desempregados no setor da Construção, ao mesmo tempo que se verifica uma falta de 80.000 trabalhadores qualificados na Construção;

- Uma maior interação do IEFP com os Centros de Formação Profissional, como o CICCOPN e o CENFIC, é essencial para garantir uma formação de alta qualidade e especializada aos desempregados, de acordo com as necessidades do setor, contribuindo ativamente para a sua requalificação profissional e reintegração no mercado de trabalho.

Uma boa formação profissional de base é também uma das chaves para ultrapassar este constrangimento. É importante que o Ministério da Educação e o Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social e até mesmo o Ministério das Infraestruturas e da Habitação operem num regime de maior cooperação, permitindo que a formação seja a mais equilibrada possível em relação a conhecimentos práticos e teóricos, de maneira a transmitir ao aluno uma perspetiva mais realista do ambiente profissional.

No ensino Profissional, que é tutelado em parte pelo Ministério da Educação, dever-se-ia incrementar os ensinamentos mais práticos de modo a permitir um maior equilíbrio com os ensinamentos teóricos.

Por sua vez, o Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social, através de contactos com as empresas do setor, pode oferecer apoio ao Ensino Profissional, aproveitando as academias de formação das empresas de maneira a complementar esta componente prática com a formação de base teórica lecionada nas escolas profissionais.

O Ministério das Infraestruturas e da Habitação poderia também dar uma contribuição na definição dos cursos de formação tendo em conta as necessidades do setor no momento e perspetivando sempre as necessidades do setor no futuro, para fazer face a todos os projetos de obras públicas planeados pelo Governo de Portugal, com vista a formar recursos humanos mais adequados aos desafios vindouros. Abrir o setor à participação das mulheres e torná-lo apelativo para os jovens e para quem queira adaptar-se às exigências atuais através de ações de upskilling/reskilling, à semelhança do atual paradigma europeu.

Um bom exemplo que poderia ser reaproveitado eram as antigas Escolas Industriais e Comerciais que, embora fossem instituições sob a tutela do Ministério da Educação, demonstravam uma capacidade de ensino muito equilibrada, proporcionando uma forte componente prática de ensino ao mesmo tempo que garantiam que a aprendizagem dos conceitos mais teóricos era também assegurada. No fundo eram escolas com uma vertente mais profissionalizante do que as existentes atualmente e que preparavam os alunos da melhor forma para se integrarem nos mais diversos setores profissionais, sem descartar a possibilidade destes alunos, se assim o pretendessem, poderem ingressar no Ensino Superior. Aliás, essa deve ser uma das principais desmistificações relativamente ao Ensino Profissional. Este tipo de ensino deve ter como foco uma aprendizagem profissionalizante, mas nunca afastando a possibilidade destes alunos ingressarem no Ensino Superior.

É importante que os estigmas existentes em relação ao Ensino Profissional sejam progressivamente ultrapassados pela sociedade e que este tipo de ensino seja visto como uma opção digna de formação e não como uma segunda escolha para quem não tem capacidade de continuar no Ensino Secundário regular. Este tipo de preconceito é um dos principais entraves a uma formação de qualidade em Portugal, contribuindo para a carência de jovens profissionais qualificados no mercado de trabalho. Tem de existir um esforço conjunto por parte de todas as entidades envolvidas neste processo de forma a cativar os recursos humanos qualificados existentes e formar devidamente os recursos humanos qualificados do futuro, já que só assim é possível ultrapassar os constrangimentos causados pela falta de mão-de-obra na Reabilitação e na Reabilitação 4.0 e assegurar um futuro próspero para as empresas e consequentemente para a economia do setor.

Em termos do Ensino Superior, as unidades curriculares, mestrados e especializações na área da reabilitação devem efetivar uma ligação com as exigências da Revolução Industrial 4.0.

Trabalhadores com boas condições de trabalho, bem formados e com conhecimentos consolidados sobre a profissão que exercem, terão melhores remunerações e, inevitavelmente, uma afirmação social distinta, perdendo-se aos poucos a ideia socialmente estabelecida de que estes profissionais são pouco qualificados ou realizam trabalhos pouco relevantes.

Já no que respeita à atuação do Governo da República Portuguesa, apresentam-se de seguida algumas recomendações:

- Apoio técnico e financeiro para facilitar a constituição de parcerias entre empresas (*clusters*) e a constituição de “Clubes de Fornecedores”, que englobem além dos fornecedores em si (preferencialmente PMEs), as empresas nucleares clientes e as entidades de interface não empresariais do sistema de I&D (tais como universidades, institutos de investigação, centros de interface tecnológico, agências de transferência de tecnologia, intermediários de inovação, entre outros);
- Apoio técnico e financeiro para melhorar o planeamento estratégico das empresas de construção/reabilitação, tornando-as mais eficientes, tecnológicas e sustentáveis, de modo a poderem responder mais eficientemente às expectativas dos clientes e à concorrência que paulatinamente vai incorporando nos seus processos as características da 4.ª Revolução Industrial. Será crucial o Estado apoiar a alteração tecnológica das empresas de reabilitação, sobretudo as PMEs, conducente à incorporação dos componentes e processos específicos da Reabilitação 4.0, pois se as empresas

Portuguesas não acompanharem esta mudança de paradigma, ficarão expostas à forte concorrência internacional, colocando-se numa situação de debilidade e risco que poderá colocar em causa a sua própria sobrevivência e do setor no geral, que é responsável por um número muito significativo de empregos diretos e indiretos, causando graves problemas sociais que depois o Estado terá de resolver de acordo com as suas possibilidades. Neste caso e usando um adágio popular pode dizer-se que “mais vale prevenir do que remediar”;

- Deve o Ministério que tutela o IEPF dar instruções claras para que a oferta formativa de cursos integrados no Catálogo Nacional de Qualificações seja significativamente ampliada e diversificada no que concerne a cursos ligados à reabilitação urbana, dando competências aos formandos para reabilitar tanto com técnicas tradicionais como não tradicionais, nomeadamente no que diz respeito às tecnologias ligadas à Reabilitação 4.0;
- Embora a Agência de Avaliação e Acreditação do ensino Superior (A3ES) seja uma Fundação de Direito Privado, sendo independente no exercício das suas competências, deve seguir princípios orientadores fixados legalmente pelo Estado, propondo-se, assim, que o Estado dê orientações claras para que no decurso da atividade de avaliação e acreditação da A3ES seja tida em conta a incorporação nos cursos de ensino superior de unidades curriculares que abordem as tecnologias e processos relacionados com a Revolução Industrial 4.0;
- Tendo em conta as dificuldades de oferta de recursos humanos para trabalhar no setor da construção/ reabilitação, deve o Estado promover, junto dos jovens, nas escolas e através da comunicação social, o setor da Construção/Reabilitação como sendo um setor moderno e atraente em que as novas tecnologias da Revolução Industrial 4.0 são apanágio.

## **CAPÍTULO 6 – SEGURANÇA E SAÚDE NA REABILITAÇÃO URBANA 4.0**

### **6.1 Introdução da segurança e saúde nas obras de Reabilitação**

A implementação da segurança e saúde no trabalho tem por objetivo principal sensibilizar os empregadores e trabalhadores para esta temática, de maneira a eliminar as condições de trabalho inseguras e por sua vez os acidentes de trabalho e as doenças profissionais.

A segurança e saúde nas obras de reabilitação tornam-se ainda mais complexa, porque muitas vezes existe o desconhecimento dos processos usados na construção, dos locais onde estão as infraestruturas e os vários materiais que foram utilizados e não foram detetados, e que podem ser suscetíveis de causar riscos. Por sua vez, a Reabilitação Urbana 4.0, baseada na quarta revolução industrial, está focada na digitalização dos processos e na integração de sistemas aplicados à indústria tradicional, em que as técnicas construtivas e os tipos de equipamentos que se utilizam não são tão conhecidos, podendo dar origem a outros tipos de acidentes que até há pouco tempo não existiam. Assim sendo, a Reabilitação 4.0 necessita de trabalhadores especializados e com formação profissional apropriada, de modo que se aproveite positivamente a evolução tecnológica para a mitigação dos riscos correlacionados com a segurança e saúde no trabalho.

### **6.2 Regulamentação e Normalização**

As preocupações em matéria de segurança e saúde a nível Europeu, surgem sobretudo em 1992 com a Diretiva Estaleiros 92/57/CEE, do Conselho, de 24 de junho, e que foi transposta para o direito interno Português através do Decreto-Lei n.º 155/95 de 1 de julho de 1995, e mais tarde revogado pelo decreto-lei n.º 273/2003 de 29 de outubro de 2003, que entrou em vigor a 29 de dezembro de 2003 e que procede à revisão da regulamentação das condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis.

Na Figura 6.1 apresenta-se esquematicamente a integração da segurança quer na fase de projeto, quer na fase de obra.

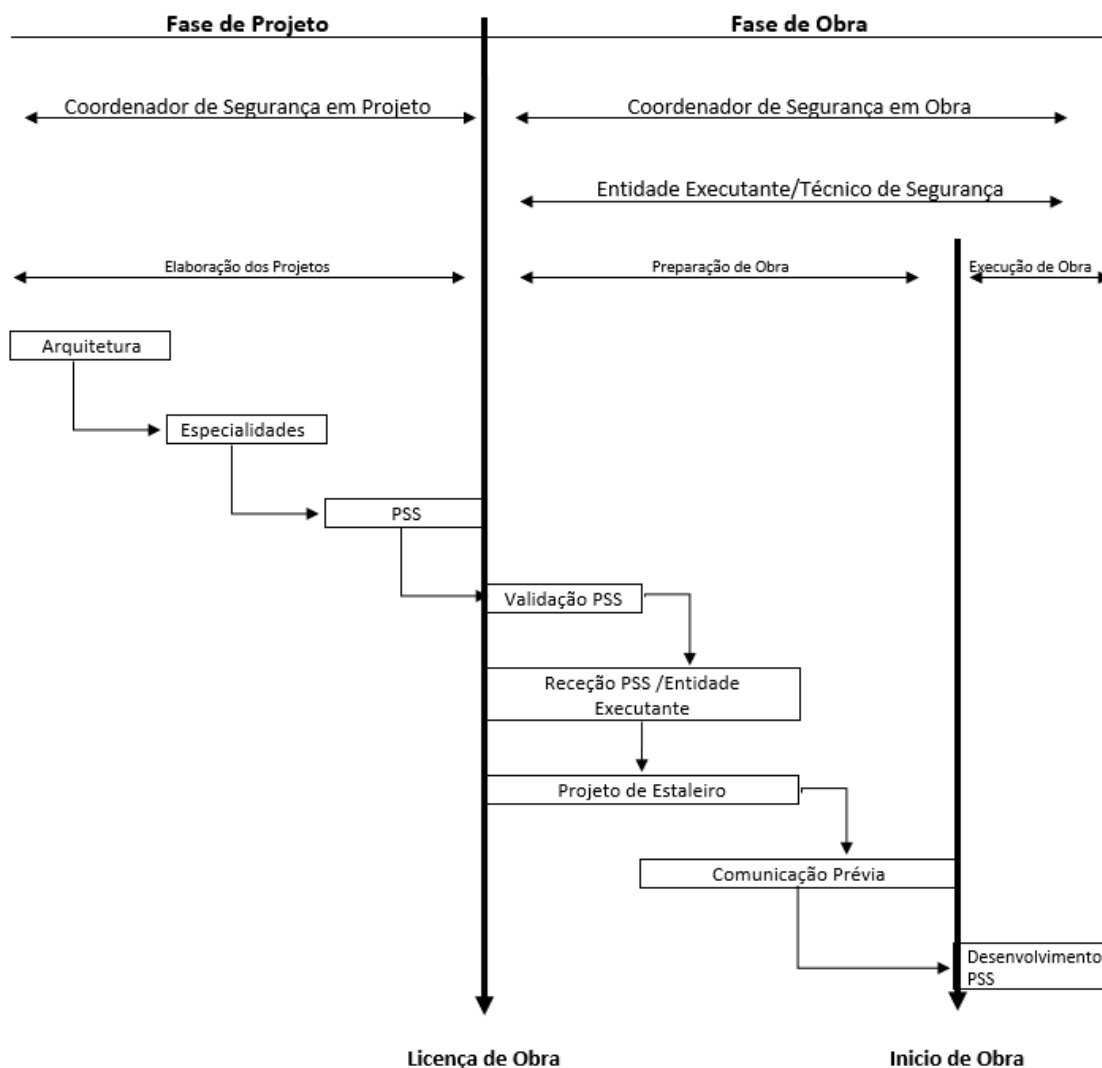


Figura 6.1 – Integração da segurança na fase de projeto e obra

O Decreto-lei n.º 273/2003, de 29 de outubro é de extrema importância porque nele estão explanadas as várias obrigações, quer ao nível dos documentos, quer dos intervenientes que se apresenta na Figura 6.2 referente ao dono de obra, na Figura 6.3 referente ao coordenador de segurança na fase de projeto, na Figura 6.4 referente ao coordenador de segurança na fase de obra, na Figura 6.5 ao autor do projeto, na Figura 6.6 referente à entidade executante, na Figura 6.7 referente às obrigações dos empregadores e na Figura 6.8 referente às dos trabalhadores independentes.

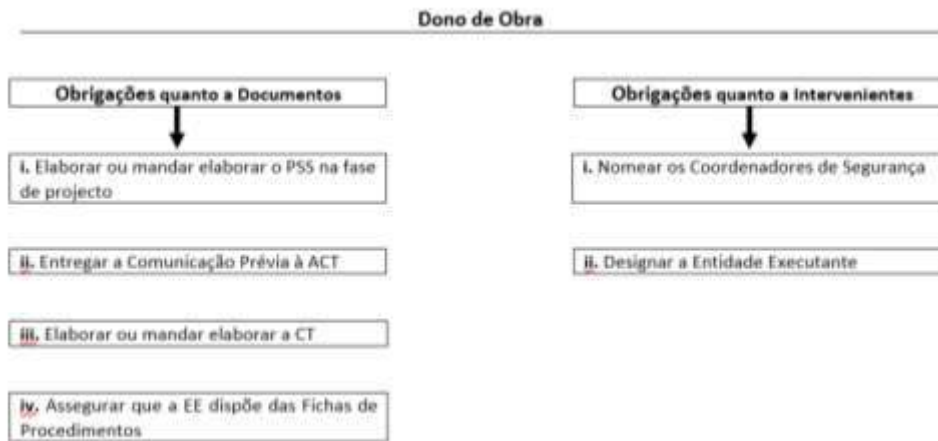


Figura 6.2 – Obrigações do dono de obra

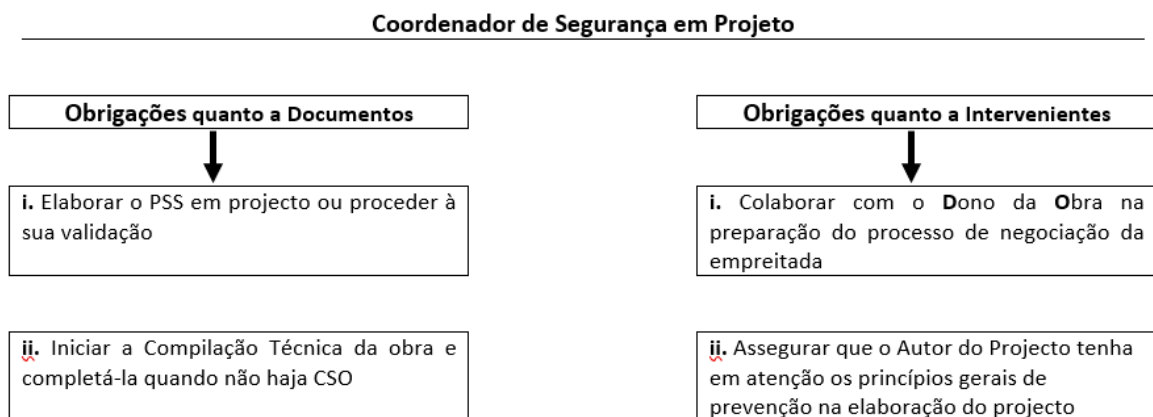


Figura 6.3 – Obrigações do coordenador de segurança em projeto

## Coordenador de Segurança em Obra

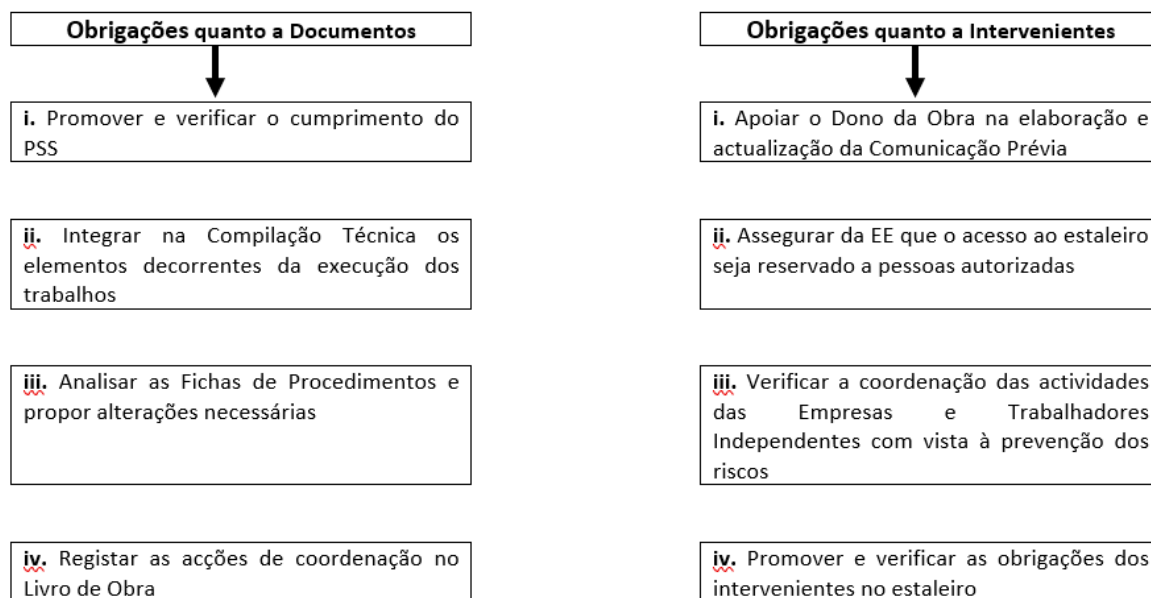


Figura 6.4 – Obrigações do coordenador de segurança em obra

## Autor do Projeto

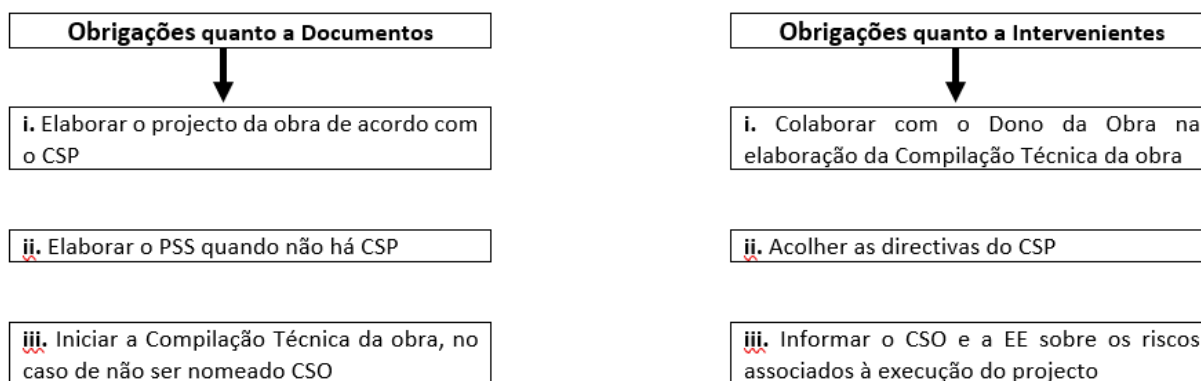


Figura 6.5 – Obrigações do autor do projeto

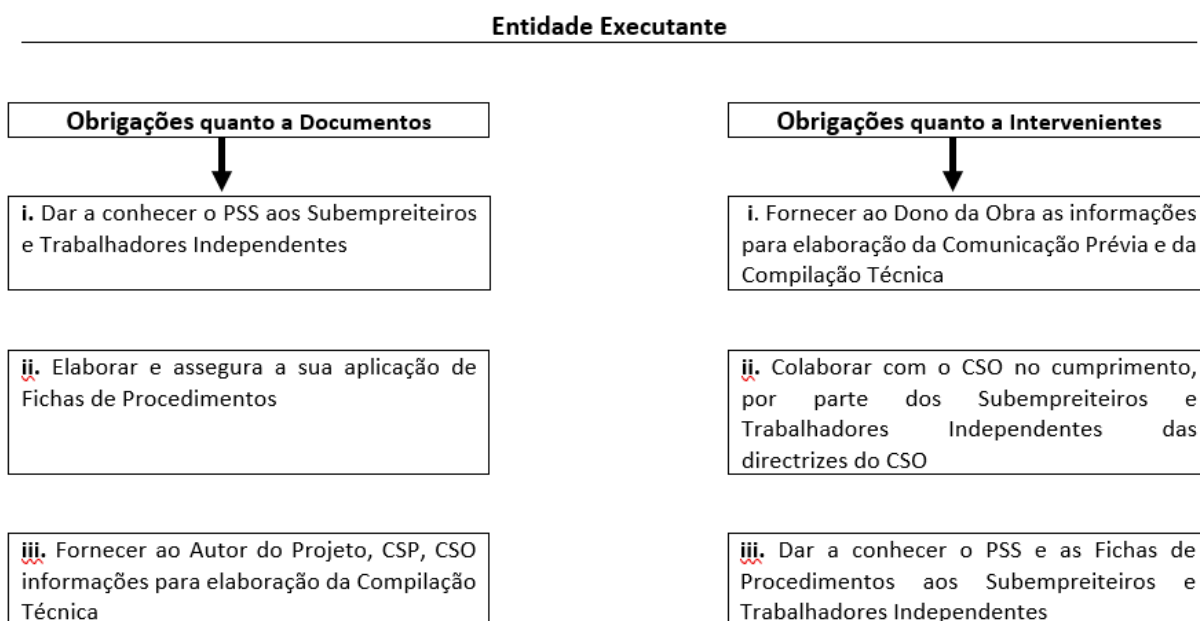


Figura 6.6 – Obrigações da entidade executante

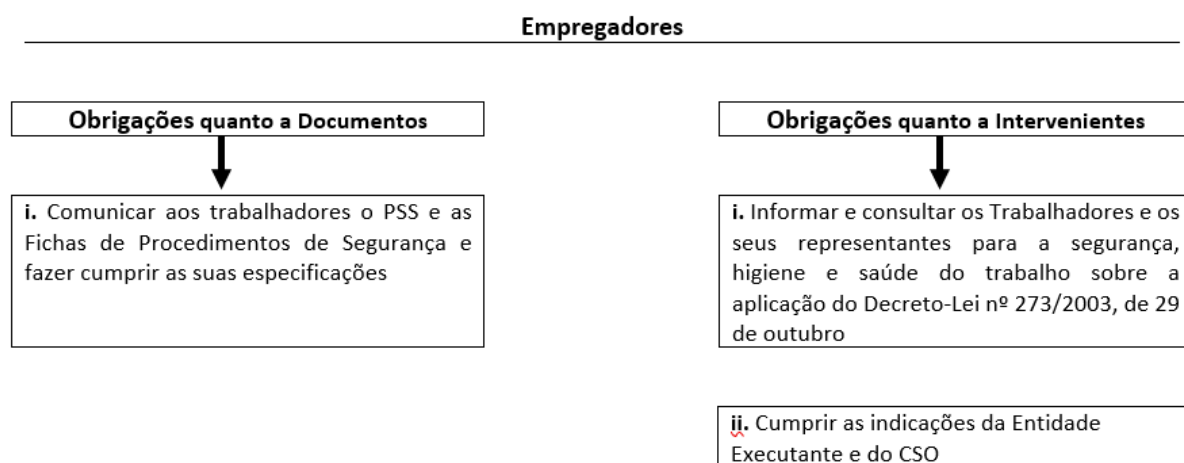


Figura 6.7 – Obrigações dos empregadores

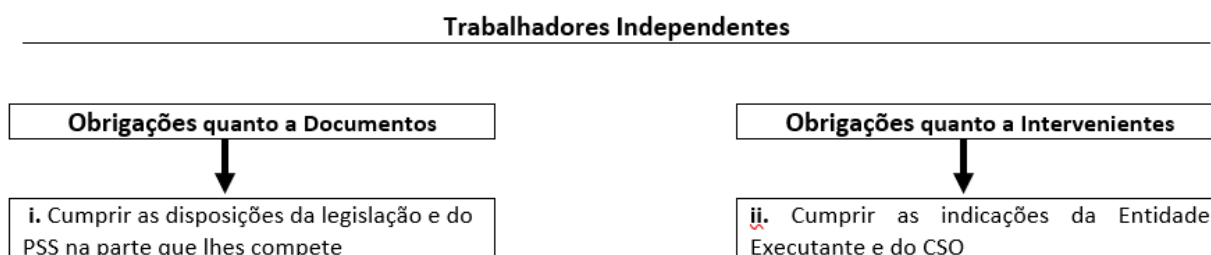


Figura 6.8 – Obrigações dos trabalhadores independentes

A Comunicação Prévia de abertura do estaleiro é um procedimento administrativo, que consiste em informar por parte do dono de obra à Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT), a abertura e implantação do seu estaleiro e por consequência o início dos trabalhos na obra. Segundo o artigo n.º 15 do Decreto-Lei n.º 273/2003 de 29 de outubro, a Comunicação Prévia é obrigatória sempre que o prazo de execução da obra tenha uma duração superior a 30 dias e tenham mais de 20 trabalhadores em simultâneo ou se o somatório do número de dias de trabalho pelos trabalhadores em obra for superior a 500, conforme se pode ver na Figura 6.9.

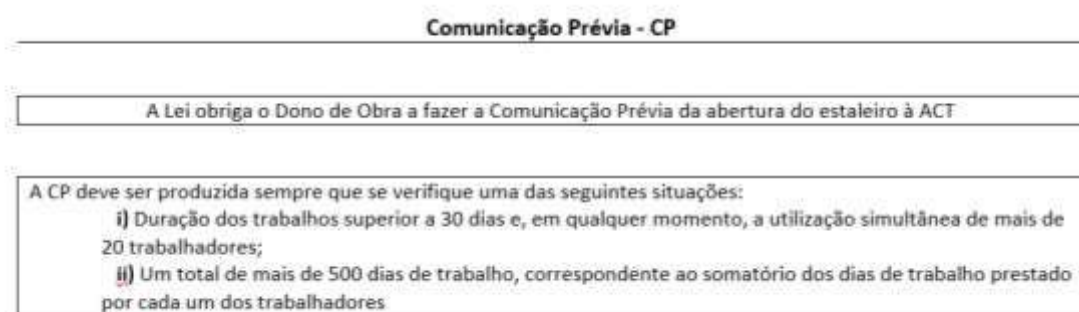


Figura 6.9 – Obrigatoriedade da Comunicação Prévia

No que se refere, à obrigatoriedade da nomeação do coordenador de segurança em projeto, é feita sempre que os trabalhos impliquem riscos especiais e o projeto seja elaborado por mais que um sujeito, e as opções arquitetónicas e técnicas forem complexas, ou quando houver a previsão de uma intervenção em obra de duas ou mais empresas, como se constata na Figura 6.10. Caso não se esteja perante uma das situações anteriores, o autor do projeto garante as funções de coordenação.

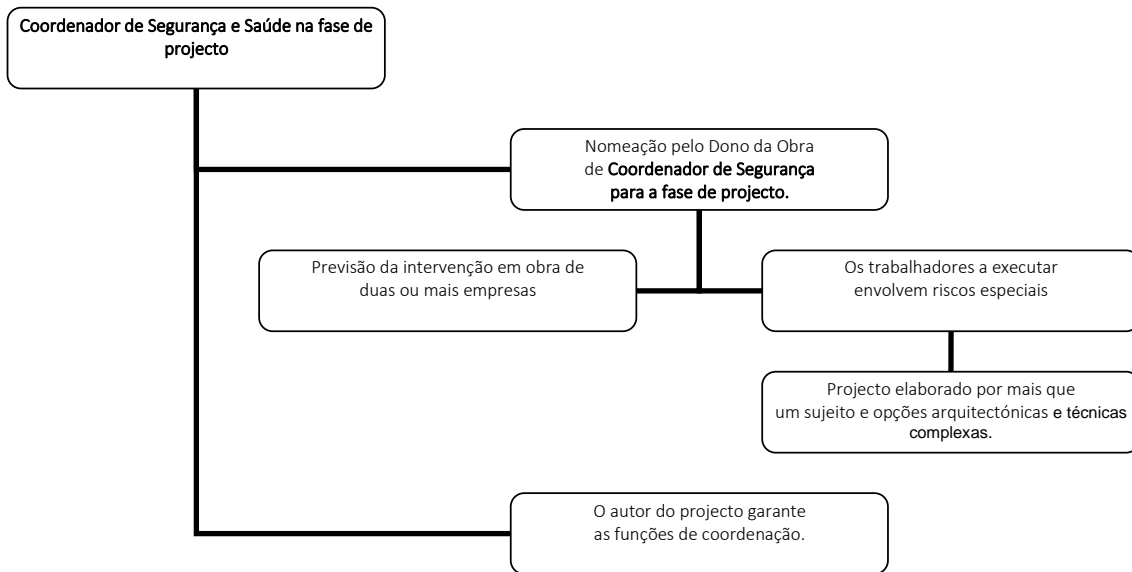


Figura 6.10 - Nomeação do coordenador de segurança e saúde na fase de projeto

No que se refere à obrigatoriedade da nomeação do coordenador de segurança e saúde em obra, esta existe sempre que houver a previsão de uma intervenção em obra de duas ou mais empresas, como se pode observar na Figura 6.11. Caso não se verifique esta condição segue o regime geral da Segurança e Saúde no Trabalho.

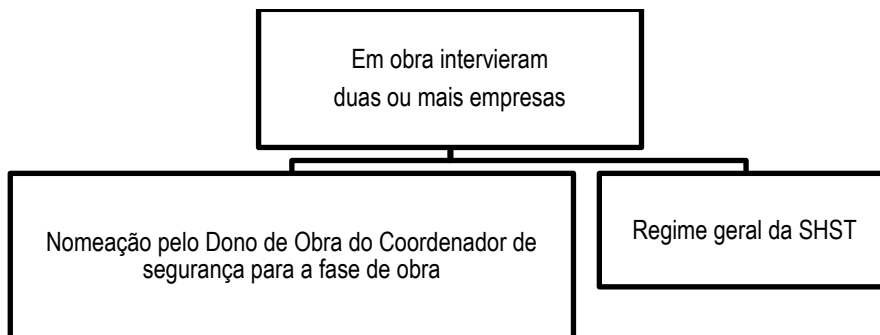


Figura 6.11 - Nomeação do coordenador de segurança e saúde na fase de obra

Segundo o artigo n.º 6 do Decreto-Lei n.º 273/2003, de 29 de outubro, é obrigatória a execução do Plano de Segurança e Saúde quando existir comunicação prévia e projeto ou então quando os trabalhos impliquem riscos especiais e existir projeto, como se pode verificar na Figura 6.12. Quando não existir projeto e os trabalhos impliquem riscos especiais é obrigatório proceder-se à execução de fichas de procedimentos de segurança, como se pode ver igualmente na Figura 6.12.

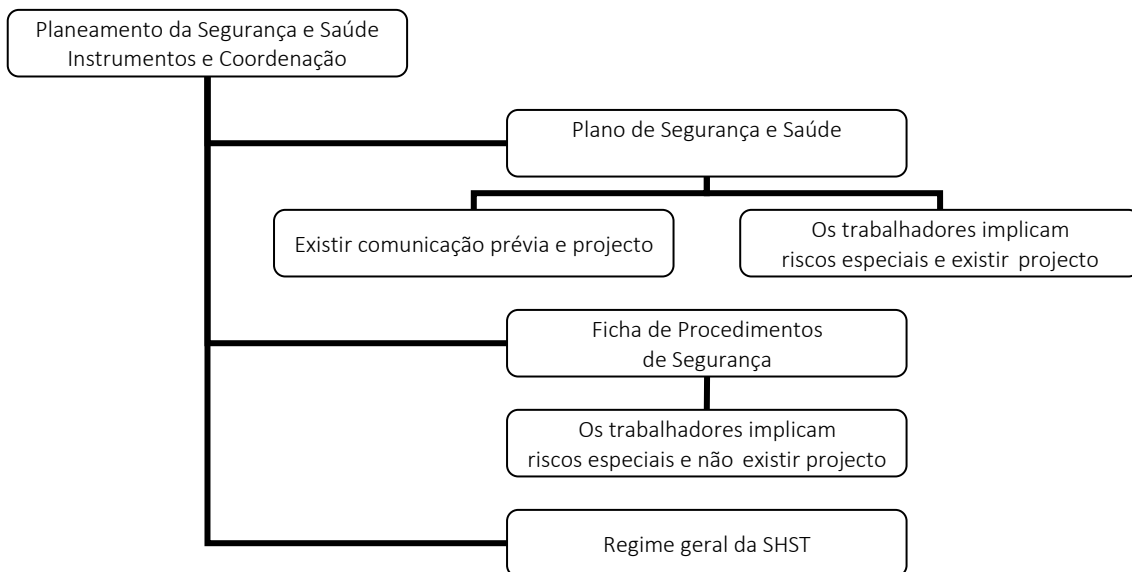


Figura 6.12 – Obrigatoriedade da elaboração do plano de segurança e saúde e das fichas de procedimentos

Na Figura 6.13 apresenta-se apenas informação sobre a obrigatoriedade do plano de segurança.

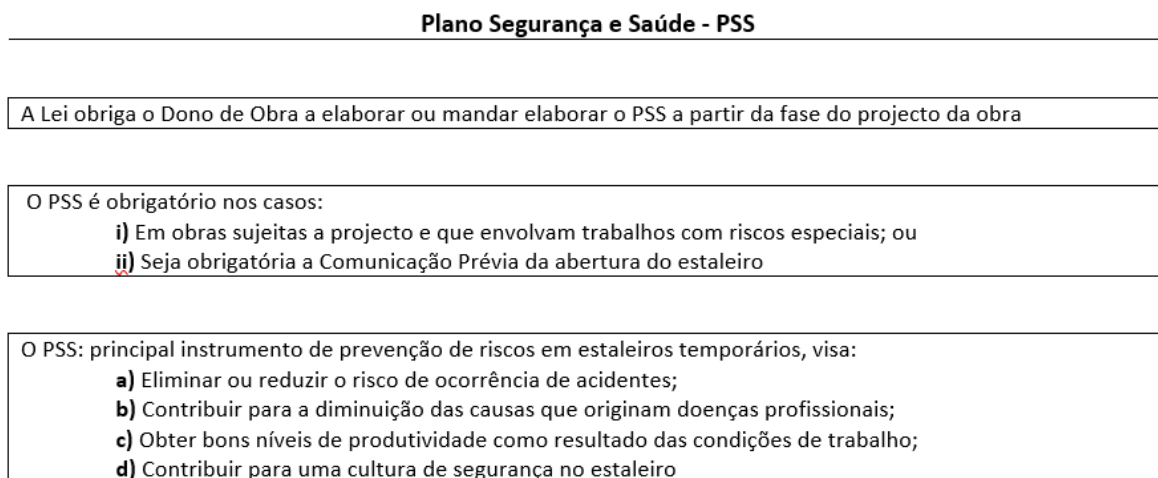


Figura 6.13 - Obrigatoriedade da elaboração do plano de segurança e saúde

Quanto às fichas de procedimentos de segurança (Figura 6.14) devem ser elaboradas pela entidade executante, e analisadas e validadas pelo coordenador de segurança e saúde em obra, quando nomeado, e devem ser aprovadas pelo dono de obra, que normalmente se representa pelo coordenador de segurança em obra, quando existe. Caso não se recaia em nenhum dos casos anteriores, deve-se seguir o regime geral de segurança e saúde no trabalho.

#### Fichas de Procedimentos - FP

A Lei obriga a EE a elaborar Fichas de Procedimentos de Segurança nos casos em que não seja obrigatório o PSS, como é o caso das obras que não estão sujeitas a projecto nem a Comunicação Prévia

EE só poderá iniciar a instalação do estaleiro depois da prévia validação técnica das Fichas de Procedimentos pelo CSO

As Fichas devem estar acessíveis, no estaleiro, a todos os subempreiteiros, trabalhadores independentes e representantes dos trabalhadores para a segurança, higiene e saúde que nele trabalhem

Figura 6.14 - Obrigatoriedade da elaboração das fichas de procedimentos

No artigo n.º 16 do Decreto-Lei n.º 273/2003, o dono de obra deve elaborar ou mandar elaborar a Compilação Técnica da obra (Figura 6.15) que tem de ser elaborada pelo Coordenador de Segurança em Projeto e complementada pelo Coordenador de Segurança em Obra, caso exista. Trata-se de um documento de prevenção para trabalhos posteriores à conclusão da obra.

#### Compilação Técnica - CT

A Lei obriga o Dono de Obra a elaborar ou mandar elaborar a Compilação Técnica da Obra, a qual deve incluir os elementos úteis a ter em conta na sua utilização futura, bem como em trabalhos posteriores à conclusão da obra, tendo em vista preservar a segurança e saúde de quem os executar

A elaboração da Compilação Técnica deverá ter início na fase de projecto e ser elaborada por um técnico qualificado, designadamente pelo CSP

A Compilação Técnica deverá incluir indicações sobre o modo de execução de manutenções, limpezas e respectiva regularidade, bem como as características dos materiais e dos seus riscos

Figura 6.15 - Obrigatoriedade da elaboração da Compilação Técnica

Segundo o artigo n.º 24 do Decreto-Lei n.º 273/2003, qualquer acidente de que resulte a morte ou lesão grave do trabalhador na perspectiva da segurança no trabalho, deve ser comunicado à ACT pelo empregador no prazo máximo de 24 horas. Caso não o faça o dono de obra tem mais 24 horas para o comunicar à unidade local ACT mais próxima da obra.

Outra legislação a ter em conta, tem a ver com as questões ligadas aos produtos contendo amianto. A proibição da utilização e comercialização de fibras de amianto em Portugal foi instituída a 23 de junho de 2005 através da Lei nº 101/2005, mas só a 24 de julho de 2007, com a entrada em vigor em Portugal, do Decreto-Lei nº 266/2007, ficou salvaguardada a proteção sanitária dos trabalhadores expostos a fibras de amianto em contexto laboral. O DL 266/2007, de 24 de julho, é “aplicável a todas as atividades em que os trabalhadores estão ou podem estar expostos a poeiras do amianto ou de materiais que contenham amianto, nomeadamente: a) Demolição de construções em que exista amianto ou materiais que contenham amianto; b) Desmontagem de máquinas ou ferramentas em que existe amianto ou materiais que contenham amianto; c) Remoção do amianto ou de materiais que contenham amianto de instalações, estruturas, edifícios ou equipamentos, bem como aeronaves, material circulante ferroviário, navios ou veículos; d) Manutenção e reparação de materiais que contenham amianto existentes em instalações, estruturas, edifícios ou equipamentos, bem como em aeronaves, carruagens de comboios, navios ou veículos; e) Transporte, tratamento e eliminação de resíduos que contenham amianto; f) Aterros autorizados para resíduos de amianto.” (DL 266, 2007).

De acordo com o Decreto-Lei nº 266/2007, de 24 de julho, o valor limite de exposição (VLE) é fixado em 0,1 fibra/cm<sup>3</sup> para todos os tipos de fibras de amianto. As atividades das quais resulte que os trabalhadores estão ou podem estar expostos a poeiras de amianto ou de materiais que contenham amianto são objeto de notificação obrigatória à ACT e respetiva autorização da mesma. Só não é necessária essa notificação quando:

- Se trata de uma exposição esporádica, descontínua ou de fraca intensidade;
- São asseguradas todas as medidas de avaliação e controlo de riscos;
- Se se demonstra claramente que os VLE's não são excedidos;
- Se se trata de materiais não friáveis;
- Se estiver assegurada a vigilância e o controlo da qualidade do ar;
- Se se tratar de atividades de manutenção descontínuas;
- Se se tratar de remoção sem deterioração de materiais não degradados;
- Se se tratar de encapsulamento e revestimento de material com amianto (MCA) em bom estado de conservação.

Para haver uma autorização dos trabalhos por parte da ACT é necessário seguir as seguintes fases do procedimento.

### **1ª Fase (Receção e conferência):**

- Receção do pedido – Registo eletrónico (artigo n.º 106 do Código do Procedimento Administrativo (CPA));
- Conferência da integridade da instrução do processo (artigo n.º 102 do CPA e artigo n.º 24, nº1 e 2 do Decreto-Lei 266/2007, de 24 de julho):
  - Requerimento;
  - Plano de trabalhos;
  - Comprovativos para o reconhecimento de competências;
- Convite para suprir as deficiências do pedido inicial ou completar a instrução (artigo n.º 108 do CPA).

### **2ª Fase (Apreciação do mérito):**

- Apreciação do mérito do pedido (artigo n.º 115 e seguintes do CPA), sendo as seguintes as grelhas de análise:
  - Plano de trabalho com amianto friável;
  - Plano de trabalho com amianto não friável;
  - Reconhecimento de competências.
- Audiência de interessados (artigo n.º 121 e seguintes do CPA), sendo o sentido geral da decisão a proferir:
  - A necessidade de corrigir o processo quanto à substância das soluções preconizadas;
  - Consequências de não acolhimento.

### **3ª Fase (Decisão final):**

- Decisão final expressa (artigo n.º 127 do CPA);
- Decisão fundamentada (de fato e de direito) de indeferimento;
- Decisão de deferimento:
  - Formulário tipo;
  - Eventuais observações/deferimento condicionado.

Outros documentos legais e normativos importantes a ter em conta, são:

- A NP 1796/2014 que estabelece os valores-limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos;

- O Regulamento (CE) n.º 1272/2008, que apresenta a classificação, rotulagem e embalagem (CRE) e harmoniza a anterior legislação da UE com o GHS (Sistema Mundial Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos), que é um sistema das Nações Unidas destinado a identificar produtos químicos perigosos e a informar os utilizadores sobre esses perigos;

- No que se refere aos resíduos de construção, o primeiro decreto-lei sobre gestão de resíduos foi o Decreto-Lei n.º 488/85, de 25 de novembro, correspondente à Diretiva n.º 75/442/CEE, do Conselho, de 15 de julho. Existiram várias alterações das Diretivas Comunitárias nomeadamente a n.º 2008/98/CE, no âmbito de aplicação do Regime Geral de Gestão de Resíduos, sendo a última alteração à Diretiva (UE) n.º 2018/851, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de Maio, transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei n.º 102-D/2020 de 10 de Dezembro, que para além de aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos, passou a enquadrar a gestão sustentável dos materiais, que incluem resíduos e produtos que não constituem resíduos, valorizando os recursos naturais e a economia circular, sendo constituídos por resíduos sólidos decorrentes de atividades de construção como demolições locais, escavações, construções, reparações e renovações.

É de realçar que não existe legislação sobre inspeção, diagnóstico e análise do amianto e de outros materiais com riscos especiais, como é o caso do chumbo ou de materiais que o contêm.

### **6.3 Inspeção e diagnóstico dos materiais com riscos especiais nas obras a reabilitar**

A inspeção e diagnóstico são muito importantes para se conhecerem as características e os elementos químicos dos materiais existentes na obra. Para isso é necessário proceder à recolha de material ou de poeiras da obra para posterior diagnóstico em laboratório. Existem vários ensaios que se usam para efetuar a caracterização e identificação das diferentes fibras de amianto, se for o caso, ou para averiguar os elementos químicos dos materiais através da microscopia eletrónica, tais como a Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM) e a Microscopia Eletrónica de Transmissão (TEM).

A microscopia eletrónica proporciona uma grande ampliação, podendo distinguir as várias fibras, nomeadamente as fibras de amianto das restantes fibras, como por exemplo fibras orgânicas ou fibras minerais artificiais. Os microscópios eletrónicos possibilitam uma maior ampliação e uma maior resolução e, por isso, detetam fibras de menor diâmetro, que não seriam detetáveis com outro tipo de microscópio. A diferença que existe entre estas duas formas de microscopia (de varrimento e de transmissão) reside no facto de na microscopia eletrónica por transmissão a imagem ser produzida por fotões e na microscopia eletrónica por varrimento a imagem ser produzida por eletrões. As consequências que advêm desta diferença são ao nível da conceção física dos aparelhos, quer ao nível da preparação das amostras, quer ao nível da obtenção da imagem (Araújo, 2002).

Microscópio Eletrónico de Varrimento, vulgarmente conhecido por SEM (Figura 6.16), deriva do seu nome em Inglês, *Scanning Electron Microscope*. Este diferencia as fibras de amianto das outras fibras, através da determinação da sua composição química. É aplicado um feixe de eletrões que ao colidir com a superfície da amostra, liberta eletrões secundários, sendo que através destes, é possível obter uma imagem apresentada no monitor. A composição química é definida pelo equipamento de EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), que se encontra emparelhado ao microscópio. Este processo pode servir para demonstrar que as concentrações são inferiores após a conclusão dos trabalhos de remoção de amianto nos casos em que estão presentes no ar fibras de outros tipos, por exemplo, fibras orgânicas (Figuras 6.17 e 6.18).

A quantidade de fibras é obtida por WDS (*Wight Dispersive Spectroscopy*), também acoplada ao microscópio. As imagens revelam também a forma como as fibras se encontram dispostas no pó e a sua dimensão. O poder de resolução dos SEM é da ordem dos nanómetros e a ampliação pode atingir valores da ordem das 20.000 vezes (Araújo, 2002).



Figura 6.16 - Microscópio Eletrônico de Varrimento, UTAD, 2014

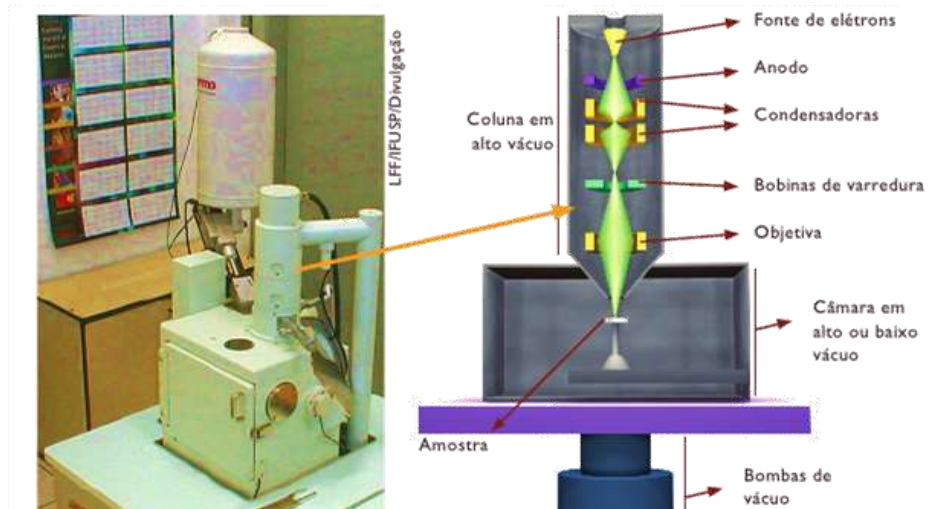


Figura 6.17 - Funcionamento do Microscópio eletrônico de varrimento (SEM)

Fonte: Revista Mecatrônica Fácil; Ano: 6; N.º 31

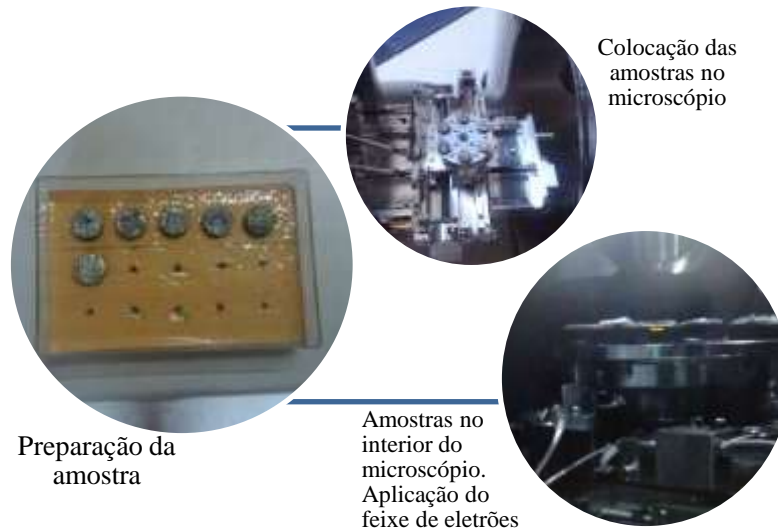


Figura 6.18 - Preparação de amostras para colocação no SEM, UTAD, 2014

Fonte - Moutinho, Christian (2016)

No que respeita ao Microscópio Eletrónico de Transmissão, este é normalmente designado pelas iniciais TEM, *Transmission Electron Microscope* (Figura 6.19). A Microscopia Eletrónica de Transmissão determina, para uma fibra, de que tipo de amianto se trata (amosite, crocidolite, crisólito, etc.) mediante a determinação da composição química e da estrutura cristalina da fibra. Embora o Microscópio Eletrónico de Transmissão disponha de maior poder de ampliação para observar as fibras mais pequenas, a análise por este método é a mais onerosa e demorada, envolvendo também, uma técnica de preparação da amostra delicada e morosa. Em termos de ampliação, o Microscópio Eletrónico de Transmissão permite ampliações da ordem de 100.000 vezes, podendo ainda atingir valores superiores (Araújo, 2002).



Figura 6.19 - Aparelho de Microscopia Eletrónica de Transmissão

Fonte - Moutinho, Christian (2016)

Com base nesta análise consegue-se identificar os elementos que constituem os materiais de construção. Exemplifica-se, pela sua relevância em obras de reabilitação, o caso das tintas de alviados que no passado muito se usava e que continham chumbo.

A título de exemplo apresenta-se o que foi feito em alguns trabalhos de investigação em dissertações desenvolvidas na UTAD e no IPVC, onde se destaca a importância de verificar os componentes químicos existentes em obras de reabilitação urbana, onde antes de se dar início aos trabalhos se fez a recolha de amostras a fim de averiguar quais os componentes químicos que as integram. A seguir, apresenta-se um exemplo referente a um edifício da zona histórica do Porto onde se fez a caracterização dos materiais existentes em obra, como se pode constatar na Figura 6.20, onde se observa que são iguais, no que se refere, às características de forma, mas bastante diferenciados em relação ao tamanho. As partículas são elementos de formas arredondadas, sendo algumas pontiagudas. As dimensões variam de  $92,20\mu\text{m}$  a  $1365,15\mu\text{m}$ .

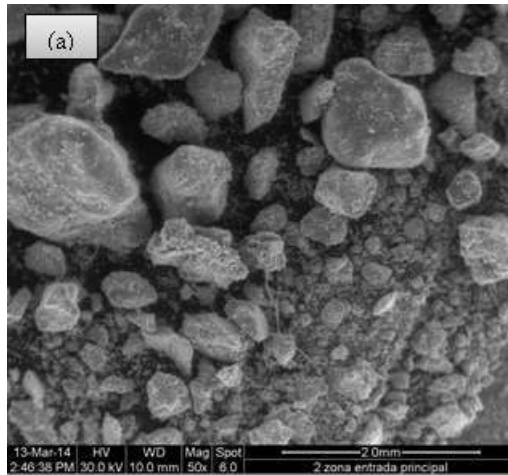


Figura 6.20 - Imagem da microscopia de varrimento de uma amostra num edifício

Fonte - Faria, Catarina (2016)

Através do EDS caracterizou-se quimicamente a amostragem onde se obtiveram os seguintes elementos: Si (sílica), Ca (cálcio), Mg (magnésio), S (enxofre), K (potássio) e Fe (ferro), como se pode ver no gráfico da Figura 6.21.

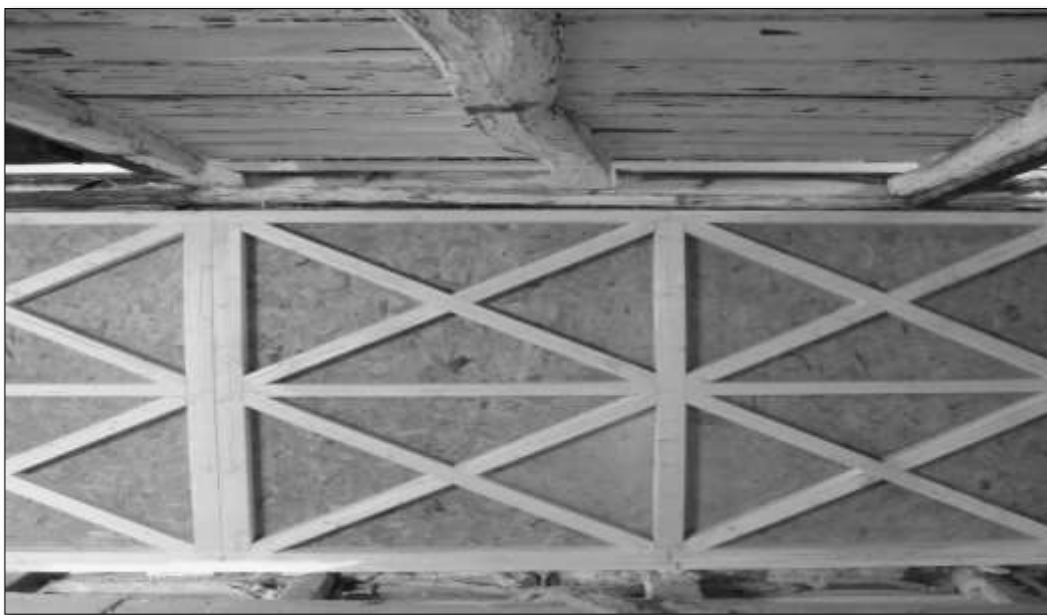


Figura 6.21 - Espectros EDS, referentes à segunda amostragem

Fonte - Faria, Catarina (2016)

Outro exemplo muito comum é na remoção de placas contendo fibrocimento, para além, da monitorização da qualidade do ar durante e após os trabalhos de reabilitação, que é obrigatória e que tem de se apresentar à ACT, pode-se recorrer a diferentes tipos de ensaios, como a

microsonda eletrónica a fim de confirmar a existência de fibras de amianto, a difração de raios-x (EDX) (Figura 6.22) ajuda a caracterizar a análise química da amostra e averiguar qual o tipo de fibra presente na mesma.



Figura 6.22 - Fibra de Actinolite com ampliação de 500X

Fonte - Faria, Catarina (2016)

Com esta análise de microscopia consegue-se ver a constituição da fibra (Figura 6.22), onde se verifica que se está perante uma fibra de amianto pertencente à classe das anfíbolos, do tipo – Actinolite. Na Tabela 6.1 apresentam-se os elementos químicos que constituem a amostra.

Tabela 6.1 - Elementos que constituem a amostra

Elementos químicos		Amostra
Si	Silício	X
Ca	Cálcio	X
Mg	Magnésio	X
S	Enxofre	X
K	Potássio	X
Fe	Ferro	X
Al	Alumínio	X
P	Fosforo	-
Cl	Cloro	-
Ti	Titânio	X
Zn	Zinco	-
Na	Sódio	-

Fonte - Faria, Catarina (2016)

Quanto ao chumbo, este pertence ao grupo de elementos químicos conhecidos como metais pesados, altamente tóxico, que produzem várias doenças e a mortes de seres vivos. O excesso de chumbo no organismo pode afetar as funções cerebrais, o sangue, os rins, o sistema digestivo e reprodutor, inclusive com a possibilidade de produzir mutações genéticas em descendentes. As tintas que contêm chumbo representam forte risco de envenenamento principalmente em crianças pequenas.

A contaminação por chumbo pode acontecer por contacto direto com produtos que têm esse elemento químico na sua composição, em valores acima do aceitável. A exposição contínua ao chumbo pode levar a lesões, visto que é um constituinte que não é absorvido pelo organismo. É muito importante fazer uma análise química aos materiais existentes em obras de reabilitação recorrendo à microscopia eletrónica para averiguar os componentes químicos dos materiais existentes e minimizar possíveis riscos.

Aquando da reabilitação tem de se ter em conta que muitas habitações antigas foram pintadas com tinta que contém chumbo e a sua deterioração foi ocorrendo ao longo dos anos, podendo existir solo contaminado, lâminas de tintas, libertação de poeiras que podem ser inaladas ou ingeridas provocando lesões.

A tinta com chumbo ao longo do tempo vai-se deteriorando. Durante anos foi muito utilizado como pigmento inorgânico, e apresentam um baixo custo quando comparados a outros pigmentos. Através de uma ação da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, foi criada a Aliança Global para a Eliminação da Tinta com Chumbo, com o objetivo de procurar evitar a exposição de pessoas a tintas que contenham chumbo e minimizar a exposição dos trabalhadores e outros utilizadores deste produto. O objetivo foi o de eliminar progressivamente a produção e venda de tintas que contêm chumbo, eliminando os riscos de contaminação por este metal pesado.

Apresentaram-se dois exemplos de materiais com elevado risco, no entanto, existem outros que não foram aqui enumerados e que são igualmente perigosos, daí a importância de se fazer um levantamento inspetivo e de diagnóstico dos materiais com riscos especiais, recorrendo à microscopia, de forma a se terem os cuidados adequados aquando da reabilitação 4.0.

### **6.3.1 Listagem de materiais com riscos especiais**

Aplicando os princípios gerais de prevenção para a fase de projeto é muito importante minimizar o risco e sempre que possível eliminá-lo. Uma das formas reside em substituir o que é mais perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso. Em obras de Reabilitação Urbana 4.0 a listagem de materiais com riscos especiais é essencial, isto porque um dos aspetos mais relevantes para minimizar os riscos ou mesmo eliminá-los é ter conhecimento do tipo de materiais que estão presentes no ato da desconstrução. Só com conhecimento do tipo de materiais que podem estar presentes na construção se consegue ter noção dos riscos existentes para a saúde dos trabalhadores e de terceiros.

Devido à crescente importância da economia circular e da sustentabilidade dos materiais de construção, onde se pretende reutilizar ao máximo os materiais provenientes da desconstrução, é cada vez mais imperativo conhecer bem os materiais existentes na construção. Só com uma boa identificação dos materiais existentes se pode planear a sua separação e posterior reutilização.

Um bom exemplo do reaproveitamento de resíduos da demolição seletiva ou desconstrução é o conhecido Edifício Coutinho, em Viana do Castelo (Figura 6.23). Numa fase inicial do planeamento da demolição do Edifício Coutinho pensou-se na implosão, por tal solução ser mais rápida, embora com relevantes consequências ambientais, devido à libertação de poeiras e consequentes impactos causados na saúde pública, e ao não reaproveitamento dos resíduos. Em 2018 abandonou-se esta solução, procurando-se uma solução mais sustentável e amiga do ambiente, com reaproveitamento de todos os materiais através de demolição seletiva, que é mais saudável em termos de saúde e segurança. Neste contexto, procedeu-se à sua desconstrução, tendo em conta quais os materiais que tinham possibilidade de ser reutilizados ou reciclados, contribuindo, assim, para a concretização de alguns dos 17 objetivos da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).



Figura 6.23 - Aspeto geral da desconstrução do edifício Coutinho em Viana do Castelo

Fonte: Baltor

As demolições sem qualquer preocupação de reaproveitamento dos materiais, embora mais baratas e rápidas, não permitem a recuperação de qualquer material com valor. Este novo conceito de desconstrução, vem valorizar a reutilização de elementos e materiais de construção, que passam desta forma a ter uma valia comercial, pois deixam de ser resíduos sem valor económico que seguiriam para um local de depósito sem qualquer tipo de utilização posterior.

No Edifício Coutinho houve esta preocupação de reaproveitar os materiais ao máximo, pelo que numa primeira fase, se retiraram seletivamente todos os materiais, começando pelos não inertes, tais como portas, janelas, madeiras, vidros, etc. Deixando para a fase final apenas a estrutura de betão armado e alvenarias, sendo que estes também foram aproveitados para material agregado. Para a desconstrução da fase de estrutura de betão armado e alvenarias foi utilizada uma giratória de longo alcance com um braço de 40 m (Figuras 6.24), equipada com tesoura hidráulica, que por razões de segurança, só pode ser manobrado por trabalhadores especializados para o efeito, além de que quanto maior o alcance do braço da máquina maiores os riscos envolvidos.



Figura 6.24 - Desconstrução da estrutura de betão armado do Edifício Coutinho com uma máquina de longo alcance

Fonte - Baltor

Salienta-se que a separação dos materiais está cada vez mais presente no nosso dia-a-dia por questões ambientais e de sustentabilidade. Devido à preocupação crescente em reabilitar de forma a reaproveitar os resíduos produzidos dando-lhes valor, torna-se necessário identificar os materiais existentes para, no caso de presença de materiais com risco especial, os mesmos serem cuidadosamente tratados atendendo ao seu risco para a saúde dos trabalhadores e de terceiros.

Um material que pela sua composição química pode originar riscos de doenças profissionais, nomeadamente dermatoses, é o cimento, pelo que se impõe a utilização de adequados equipamentos de proteção individual pelos trabalhadores que procedem ao seu manuseamento.

O amianto e o chumbo nas tintas são outros exemplos de materiais presentes nas obras de reabilitação que podem originar doenças profissionais. O amianto é um mineral fibroso e era usado extensivamente numa variedade de aplicações, devido à sua excecional durabilidade e resistência ao calor, à corrosão, ao frio, aos ácidos, ao ruído e às vibrações. Devido às suas excelentes propriedades de isolamento, o amianto era frequentemente utilizado como um retardador térmico, aplicado em caldeiras e tubos, incluindo-se também em muitos diferentes produtos de proteção contra incêndios, tais como portas corta-fogo (Hagemeyer et al., 2006 cit. in Park et al., 2008). Por se tratar de uma matéria-prima abundante na Natureza e apresentar baixo custo e excelentes características, o amianto foi utilizado em várias aplicações na construção civil e aplicado em diferentes tipos de materiais, como se pode observar na Figura 6.25.

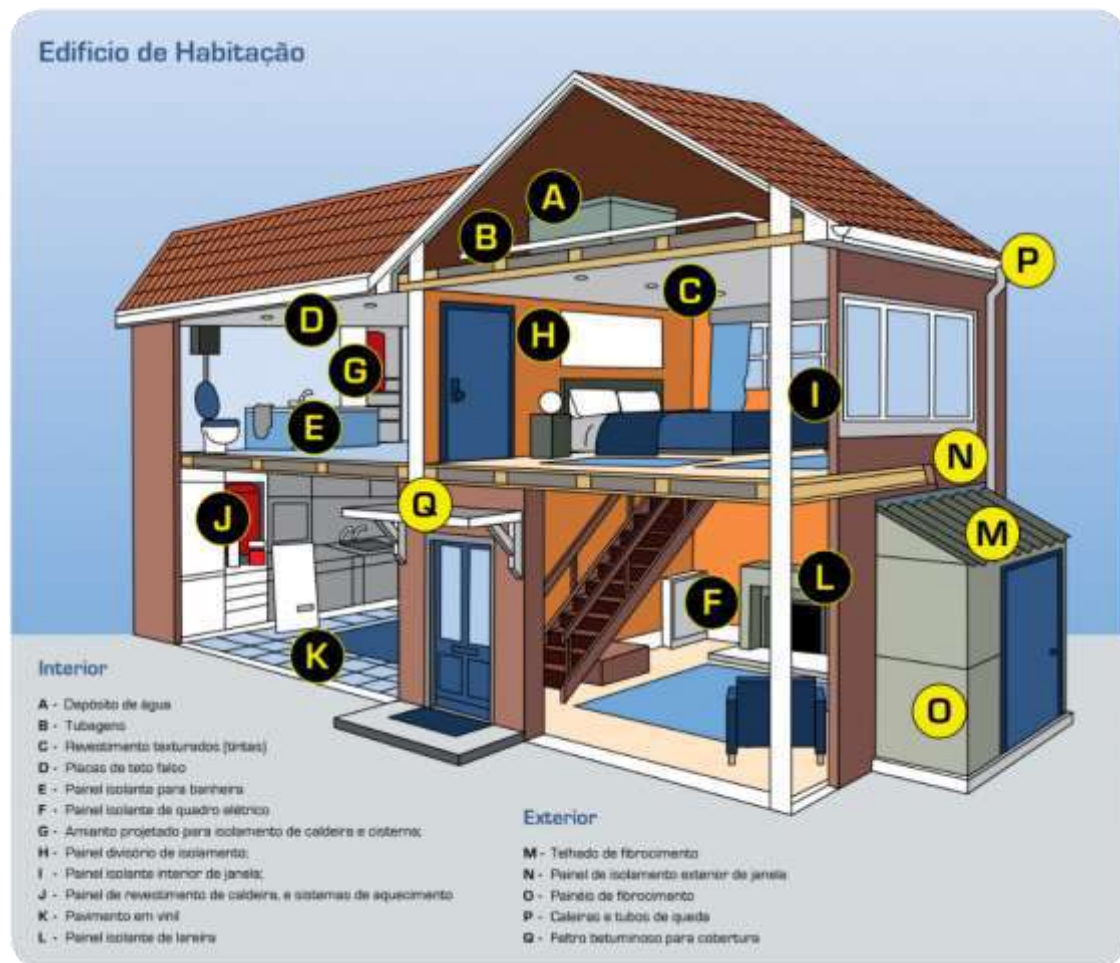


Figura 6.25 - Aplicação do amianto na construção

Fonte - tamanho-completo.png (1200x1033) (d20g1hcwzqzdk.cloudfront.net

Atendendo à sua perigosidade, o amianto foi proibido na União Europeia no final de 2005. A nível mundial, a Organização Mundial da Saúde estima que as doenças relacionadas com o amianto, especialmente o mesotelioma, cancro do pulmão e asbestose, irão provocar à volta de 107 000 mortes por ano. A exposição ao amianto pode traduzir-se numa diversidade de doenças, incluindo a asbestose, cancro do pulmão, placas pleurais e mesotelioma maligno, podendo também causar, cancro gastrointestinal, cancro nos ovários, cancro na bexiga, na pele, no fígado e nos rins, entre outros tipos de doenças. A asbestose é considerada uma doença pulmonar que se manifesta habitualmente entre 10 a 20 anos após a exposição ao amianto. É uma doença crónica dos pulmões originada pela exposição às fibras de amianto, causada pela aspiração do seu pó. A fibra ao ser inalada e absorvida pelos pulmões, desencadeia uma reação inflamatória que, em última análise, leva à fibrose do pulmão, substituindo o tecido pulmonar saudável por cicatrizes.

As doenças relacionadas com o amianto podem levar entre 10 e 40 anos para se desenvolverem em indivíduos que foram expostos às suas fibras, sendo que, na maioria dos casos não se conhecem estas situações, pelo que se torna impossível prever exatamente quantos casos poderão surgir no futuro.

No sentido de minorar o problema de amianto, o decreto-lei n.º 266/2007 de 24 de julho, transpôs para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2003/18/CE, apresentando um conjunto de medidas, entre as quais são de salientar as seguintes:

- Redução do valor limite de exposição;
- Limitação e proibição de atividades que implicam exposição ao amianto;
- Reforço das medidas de prevenção e proteção;
- Necessidade de elaboração de uma metodologia na recolha de amostras e de contagem de fibras para a medição de amianto no ar;
- Indicação do conteúdo da formação e informação específica a ceder aos trabalhadores expostos ao amianto, assim como garantia da vigilância da saúde dos mesmos;
- Obrigação da entrega de um plano de trabalho à ACT (Autoridade para as Condições do Trabalho);
- Designação dos equipamentos adequados aos trabalhos de remoção ou demolição de amianto.

Em 2011, a Lei n.º 2/2011, de 9 de fevereiro, estabeleceu procedimentos e objetivos com vista à remoção de produtos que contêm fibras de amianto ainda presentes em edifícios, instalações e equipamentos públicos. Posteriormente, em 2014, a Portaria n.º 40/2014, de 17 de fevereiro, estabeleceu as normas para a correta remoção dos materiais contendo amianto e para o acondicionamento, transporte e gestão dos respetivos resíduos de construção e demolição gerados, tendo em vista a proteção do ambiente e da saúde humana (Portal do cidadão, 2014).

O coordenador de segurança para a fase de obra deverá preencher a folha de registo dos materiais com riscos especiais sempre que tal se justifique. Apresentam-se na Tabela 6.2 alguns exemplos de materiais com riscos especiais.

Tabela 6.2- Listagem não exaustiva de materiais com riscos especiais

Nº	Materiais	Riscos Potenciais	Avaliação		
			B	M	A
1	Cimento, betão, argamassas, gesso	Risco por contacto e poeiras: dermatoses, irritação dos olhos, etc. Risco por inalação de poeiras: lesões no aparelho respiratório, tonturas, náuseas, etc.			X
2	Aditivos químicos (hidrófugos, etc.), óleo descofrante, tintas, vernizes, colas, resinas e solventes	Risco por contacto e poeiras: queimaduras, dermatoses, irritação da pele, irritação dos olhos, etc. Risco por inalação de poeiras e vapores: lesões no aparelho respiratório, tonturas, náuseas, etc.			X
3	Poliuretano projetado e produtos betuminosos	Risco por contacto: queimaduras na pele, dermatoses, irritação da pele, irritação dos olhos, etc. Risco por inalação de vapores: lesões no aparelho respiratório, tonturas, náuseas, etc.			X
4	Inertes e material de escavação	Risco por inalação de poeiras: lesões no aparelho respiratório.			X
5	Produtos carburantes e explosivos	Risco por manuseamento: incêndio e explosão. Risco por inalação de vapores: intoxicação e lesões no aparelho respiratório.			X

Nota – B - Baixo; M – Médio; A - Alto.

#### 6.4 Novas tecnologias na Construção/Reabilitação

Um dos princípios gerais de prevenção é dar prioridade à técnica, pelo que se devem realizar os trabalhos tendo em conta o estado de evolução da técnica, dado existirem hoje em dia equipamentos mais evoluídos e já com proteção coletiva incorporada e materiais mais amigos do ambiente e isentos de riscos nocivos para o trabalhador. Pelo que se se tiver isso em consideração o risco de acidente é muito menor.

Como exemplos de tecnologias relevantes para a área da segurança e saúde, apontam-se os sistemas de cofragem, plataformas de trabalho, andaimes, entivação de valas, plataformas elevatórias, escoramentos estruturais (estruturas provisórias).

Na Figura 6.26 apresentam-se várias plataformas elevatórias, com uma plataforma munida de guarda corpos e rodapés, com porta para que os trabalhadores executem os seus trabalhos em altura com segurança, minimizando o risco de queda em altura.



Figura 6.26 - Imagem de várias plataformas elevatórias  
Fonte - O Que São Plataformas Elevatórias? – Locasim

O tipo de plataformas elevatórias apresentadas na Figura 6.27 são muito utilizadas na montagem e desmontagem de estruturas metálicas e apresentam uma excelente eficiência no trabalho, porque a produção aliada à segurança faz com que os trabalhos se façam com o menor risco e bem mais rápido.



Figura 6.27 - Exemplos de plataformas para trabalhos em altura em estruturas metálicas  
Fonte -Carlos Oliveira

Outra vantagem das plataformas elevatórias é que se conseguem fazer os trabalhos sem grandes constrangimentos e inclusive à noite em perfeita segurança, mesmo em sítios onde a presença de pessoas é de grandes multidões, como se pode ver pelas Figura 6.28 e 6.29. No hotel da Disney Land Paris mesmo à entrada do parque onde a afluência de pessoas à noite é enorme,

com estas plataformas elevatórias permitiu-se executar a obra em segurança e sem constrangimentos.



Figura 6.28 - Uso de plataformas elevatórias em obras de reabilitação do hotel da Disney Land Paris  
Fonte: Cristina Reis



Figura 6.29 - Pormenor do uso de plataformas elevatórias em obras de reabilitação do hotel da Disney Land Paris  
Fonte: Cristina Reis

Outra situação muito frequente de provocar a ocorrência de acidentes de trabalho é na mudança de lâmpadas de rua ou em operações em frentes de trabalho em altura, pelo elevado risco de queda em altura.

Como se observa na Figura 6.30, com o uso destas plataformas esse risco torna-se diminuto, desde que a plataforma seja bem utilizada.



Figura 6.30 - Plataformas de trabalho elevatórias utilizadas na substituição de lâmpadas  
Fonte: Carlos Oliveira

As plataformas de trabalho (Figura 6.31) têm evoluído ao longo dos anos e são cada vez mais seguras. Os acidentes mortais mais frequentes foram provocados por plataformas de trabalho, sem requisitos mínimos de segurança. Não quer dizer que hoje tenha deixado de existir acidentes por plataformas de trabalho inseguras, mas estes diminuiram.



Figura 6.31 - Plataforma de trabalho móvel

Fonte - Plataforma de trabalho - ZARGES - de elevação / de acesso / móvel (directindustry.com)

Se o trabalhador se sentir seguro, o seu rendimento de trabalho será muito maior e por consequência o número de acidentes será menor. Muitas vezes, em pequenos trabalhos que aparentemente oferecem menores riscos, acontecem acidentes provocados por quedas em altura, devido ao uso de plataformas de trabalho inadequadas para o trabalho que se está a executar e sem qualquer medida de prevenção. Na Figura 6.32 apresenta-se uma outra plataforma de trabalho adequada.



Figura 6.32 - Exemplo de uma plataforma de trabalho rebatível

Fonte - Plataforma de Trabalho Rebatível com Escada (racks.pt)

Nas grandes obras de construção são necessárias plataformas de trabalho perimetral (Figura 6.33), mas que sejam seguras para minimizar mais uma vez o risco de queda em altura, principal causa de morte pelos acidentes de trabalho no sector da construção.



Figura 6.33 - Exemplo de uma plataforma de trabalho perimetral  
Fonte - Plataformas de trabalho perimetrales | ULMA (ulmaconstruction.pt)

Outro tipo de plataforma de trabalho muito importante são os andaimes (Figura 6.34). Quando se utilizam para uma altura significativa deve-se calcular este tipo de estruturas provisórias, pois muitos acidentes de trabalho ocorrem por andaimes sem condições de segurança e por mau dimensionamento da estrutura metálica, pois esta será solicitada por várias cargas ao longo da construção. Estes devem ter plataforma de trabalho em toda a sua largura e extensão, devem ter guarda-corpos e rodapé, devem estar espiaados à fachada e as escadas de acesso aos pisos superiores do andaime devem ser pelo interior e com o respetivo alçapão. Os andaimes devem estar contraventados e espiaados à fachada para evitar a sua queda. Os equipamentos para trabalhos temporários em altura, andaimes de trabalho e acesso, devem cumprir a Norma EN 12811-1: 2003 para andaimes metálicos tubulares e para os andaimes de fachada de componentes pré-fabricados a Norma EN 12810-1: 2003.

O manual de instruções deve estar no local de trabalho e deve conter:

- Uma lista com todos os componentes e descrição que permita a sua identificação;
- Instruções com a sequência de instalação e desmontagem dos componentes e a forma de os manusear.

Existem ainda outros documentos referentes aos andaimes que devem fazer parte dos elementos da ficha de segurança, como são:

- A disposição de cada configuração do sistema;
- Limitações em função da pressão dinâmica do vento, gelo e neve;
- Cargas exercidas na fachada e na base do andaime.

Deve existir um plano de montagem e desmontagem do andaime que inclua referência às medidas de segurança a adotar pelos trabalhadores, limitações em caso de condições atmosféricas adversas, cargas admissíveis, outras situações de riscos como por exemplo: instalações elétricas, passagem de veículos e de pessoas. Os andaimes de trabalho e acesso do tipo metálicos tubulares, devem dispor de cálculo de resistência e estabilidade. Os andaimes de fachada de componentes pré-fabricados, quando montados em configurações não previstas pelo fabricante no manual de produto, devem dispor de cálculo de resistência e estabilidade. O cálculo de resistência e estabilidade deve ser efetuado por pessoas com habilitação própria.



Figura 6.34 – Projeto e utilização de andaimes homologados  
Fonte - Scaffmax® Cálculo de Andaimes | ULMA (ulmaconstruction.pt)

O uso de andaimes homologados (Figura 6.35) permite minimizar os riscos de acidentes por quedas em altura, sendo estes muito frequentes e de grande vantagem de utilização. Permitem fazer os trabalhos em segurança quer para os trabalhadores, quer para terceiros, mesmo para obras que decorrem em zonas urbanas muito movimentadas.



Figura 6.35 - Utilização de andaimes homologados

Fonte: Cristina Reis

Quanto às valas, estas devem ser entivadas sempre que a sua profundidade seja superior a 1,20 m, independentemente do tipo de solo, o que nem sempre acontece, transformando-se esta situação num risco de soterramento para os trabalhadores, entre outros. Existe hoje em dia uma grande variedade de tipologia de entivações, como se pode ver na Figura 6.36, que elimina o risco de soterramento.



Figura 6.36 – Entivação de valas

Fonte - <https://www.concretex.pt/>

No que se refere, aos sistemas de cofragem estes evoluíram muito e são cada vez mais seguros para os trabalhadores. No ato da cofragem, ou descofragem, de estruturas de betão armado havia muitos acidentes de trabalho, cujo maior risco era a queda em altura e o desabamento da estrutura e queda de objetos. Nas Figuras 6.37 a 6.39 apresentam-se alguns tipos de cofragens, autotrepante, trepante e modular, respetivamente.



Figura 6.37 - Cofragem autotrepante

Fonte - Cofragens autotrepantes ATR | ULMA ([ulmaconstruction.pt](http://ulmaconstruction.pt))



Figura 6.38 - Cofragem trepante

Fonte - Sistemas de cofragem trepante | ULMA ([ulmaconstruction.pt](http://ulmaconstruction.pt))



Figura 6.39 - Cofragem modular

Fonte - Cofragem modular ligeira LGW | ULMA (ulmaconstruction.pt)

## 6.5 Listagem de trabalhos com riscos especiais

A lista de trabalhos com riscos especiais deverá ser complementada à medida que a execução da obra vai ocorrendo, pelo coordenador de segurança e saúde para a fase de obra, da equipa do dono de obra. Este terá também que fazer o registo destes trabalhos.

Antes do início de cada tarefa, deve o técnico de segurança, da equipa da entidade executante, proceder à execução de memórias descritivas contendo os métodos e processos construtivos que irão ser utilizados para a execução das tarefas de acordo com as técnicas de segurança por estes desenvolvidas, onde exista uma análise de risco e das técnicas de prevenção associadas a todos os trabalhos que envolvam riscos especiais, designados por Planos de Trabalho com Riscos Especiais (PTREs). Estes PTREs são sujeitos à validação técnica pelo coordenador de segurança e de saúde para a fase de obra e à aprovação por parte do dono de obra. O coordenador de segurança e saúde em obra define quais os PTREs que pretende que sejam apresentados e a antecedência com que devem ser enviados.

Na Tabela 6.3 apresenta-se um pequeno exemplo de trabalhos com riscos especiais com alguns trabalhos e seus potenciais riscos.

Tabela 6.3 - Listagem não exaustiva de trabalhos com riscos especiais

Nº	Trabalhos	Riscos Potenciais	Avaliação		
			B	M	A
1	Desmatação	Esmagamento Perfuração / Corte			X X
2	Demolições	Soterramento			X
3	Escavação, aterro, movimento de terras	Quedas em altura			X
4	Desmonte de rocha	Queda e Soterramento			X
5	Abertura de valas e poços	Lesões Músculo-esqueléticas			X
6	Assentamento de tubagens	Danos nos membros superiores e inferiores			X
		Lesões na pele, olhos, aparelho respiratório			X
		Lesões no aparelho neurológico			X
		Lesões no aparelho auditivo			X
		Risco Químico/Risco Elétrico		X	
		Afogamento		X	
7	Execução de estruturas em betão armado  NOTA: Risco químico agravado na utilização de óleo descofrante	Quedas em altura			X
		Lesões Músculo-esqueléticas			X
		Danos nos membros superiores e inferiores		X	
		Risco Químico			X
		Risco Elétrico		X	
8	Execução de estruturas metálicas  NOTA: Riscos de queimaduras na pele e nos olhos agravados na execução de soldaduras	Quedas em altura			X
		Lesões Músculo-esqueléticas			X
		Danos nos membros superiores e inferiores		X	
		Lesões na pele, olhos - queimaduras			X
		Risco Elétrico		X	
9	Execução de Infraestruturas Técnicas: Instalações Elétricas, Instalações Hidráulicas	Quedas em altura e quedas ao mesmo nível			X
		Lesões Músculo-esqueléticas		X	
		Danos nos membros superiores e inferiores		X	
		Risco Químico/Risco Elétrico		X	
		Risco Elétrico		X	

Nº	Trabalhos	Riscos Potenciais	Avaliação		
			B	M	A
10	Montagem e utilização do Estaleiro e Trabalhos na via pública	Acesso de pessoas não autorizadas à Obra, com eventuais riscos de acidente			X
		Atropelamento de peões			X
		Colisão de viaturas			X
11	Instalação e Manutenção de Equipamentos de Grande Porte (Gruas, ...)	Choque na movimentação de cargas			X
12	Construção das Ensecadeiras (Tomada de Água e Restituição) e posterior demolição das mesmas	Atropelamento			X
		Colisão de viaturas			X
		Queda em altura			X
		Queda ao mesmo nível		X	
		Queda de objetos		X	
		Afogamento			X
		Choque na movimentação de cargas			X
		Colisão de viaturas			X
		Queda de equipamentos			X
		Colapso Estrutural			X
13	Construção da Tomada de Água, da Restituição e do seu acesso	Queda em altura			X
		Choque na movimentação de cargas			X
		Queda de objetos			X
		Colapso das plataformas de trabalho			X
		Rutura dos moldes			X
		Esmagamento			X
		Entalamento			X
		Perfuração / Corte			X
		Colisão de viaturas			X

Nota – B - Baixo; M - Médio, A - Alto

### **6.5.1 Avaliação de riscos na Reabilitação Urbana 4.0**

É de extrema importância fazer uma avaliação de riscos profissionais decorrentes das atividades realizadas e a devida gestão na estrutura organizacional, sendo hoje em dia uma obrigação legal para as empresas. Salienta-se que é necessário conhecer e relacionar um conjunto de riscos potenciais de maneira a possibilitar a definição de uma estratégia preventiva ao nível da saúde e segurança. A avaliação de riscos profissionais é a única forma que a empresa ou empregador dispõem para ter uma noção efetiva dos perigos e riscos inerentes às atividades desenvolvidas.

A avaliação de riscos processa-se segundo algumas etapas, tais como:

- Identificação de perigos – fonte ou situação que potencia o dano;
- Avaliação da dose-resposta;
- Avaliação de exposição;
- Caracterização dos riscos.

No âmbito da Reabilitação 4.0, a avaliação de riscos pode ser executada com o auxílio de drones, robôs, ou outros, sendo que pode o uso destas novas tecnologias originar por si só novos riscos pela dificuldade de operar com equipamento que não se domina. Existem métodos de análise de riscos que se adequam a estas novas tecnologias.

A ISO 31000 sobre Gestão de Riscos, ajuda as organizações a desenvolverem uma estratégia de gestão do risco para a identificação e mitigação eficaz dos riscos e para o aumento da proteção dos seus ativos. Quando se fazem os PTREs é realizada uma avaliação de risco partindo do princípio que todos os procedimentos serão cumpridos, razão pela qual se deve fazer o registo dos PTREs que dão a realidade dos procedimentos implantados em obra. O método de avaliação de riscos desenvolvido por Carlos Oliveira - Avaliação de risco de possíveis acidentes em obra para identificação de estratégias de medidas preventivas para a segurança na construção - (Oliveira, C. 2014) com base na análise estatística, feita com base nos registos dos PTRE permite uma melhoria contínua na diminuição dos acidentes porque permite fazer uma avaliação de riscos ao minuto aquando das várias visitas à obra, com base nos acidentes e não nas conformidades existentes em obra. Deve ser feita uma avaliação de riscos a estas situações e com base nessa análise de risco melhorar os procedimentos/medidas preventivas. A implantação desta norma é melhorada em função da repetição deste ciclo.

A implementação da ISO 31000 auxilia as organizações a averiguar as oportunidades positivas e as consequências negativas associadas ao risco, permitindo uma tomada de decisão mais adequada e eficiente, especialmente na alocação de recursos.

Existem vários métodos de avaliação de riscos, passando a dar-se de seguida alguns exemplos de utilização frequente. O método das matrizes e o de OIRA são métodos que se podem utilizar numa fase de concessão dos PTREs, embora também possam ser usados na fase de execução dos trabalhos para avaliar o risco, com as limitações da subjetividade de quem está a fazer a sua avaliação de risco.

O método das matrizes é uma conjugação do método qualitativo e semi-quantitativo, utilizando valores numéricos, destaca-se pela simplicidade e fiabilidade do processo, permitindo a avaliação de riscos através de três variáveis: a probabilidade, a gravidade e o risco. A probabilidade (P) é definida como a maior ou menor hipótese que o acidente ocorra, consoante as condições verificadas. A gravidade (G) por sua vez, avalia as consequências resultantes da ocorrência do acidente a nível de lesões humanas, pois, os prejuízos materiais não são levados em conta. O risco (R) é definido como o produto da gravidade pela probabilidade de ocorrência, resultando assim a fórmula matemática (Pinto, A. 2008):

$$R = P \times G \quad [6.1]$$

Sendo:

R – Risco;

P- Probabilidade;

G – Gravidade.

De salientar que quando se procede à avaliação de riscos das atividades, considera-se que os trabalhadores cumprem as normas/procedimentos/instruções de segurança, utilizam as ferramentas adequadas e em boas condições de conservação e, ainda que não apresentam comportamentos de risco. Deste modo, é possível estimar a probabilidade de ocorrência do acidente e, em caso deste, quais serão as suas consequências. Para a obtenção da variável Probabilidade (P), definiu-se 4 níveis, como ilustrado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Grau de Probabilidade

Probabilidade (P)	
Muito provável	Ocorre pelo menos uma vez por semestre a um indivíduo
Provável	Ocorre pelo menos uma vez em cada 5 anos a um indivíduo
Pouco provável	Ocorre pelo menos uma vez na vida de trabalho de um indivíduo
Muito improvável	Menor que 1% de possibilidade de ocorrer na vida de trabalho de um indivíduo

Fonte - Pinto, A. (2008). Manual de Segurança, 3ª Edição. Lisboa: Edições Sílabo.

A variável Gravidade (G) compreende-se em 3 níveis, como ilustrado na Tabela 6.5.

Tabela 6.5- Grau de Gravidade

Gravidade (G)		
Domínio	Segurança	Saúde
Ligeiros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lesões superficiais;</li> <li>- Feridas e cortes menores;</li> <li>- Irritação ocular provocada por poeira.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incómodo ou perturbação e irritação (ex. dores de cabeça);</li> <li>- Doença temporárias que provoquem desconforto.</li> </ul>
Moderados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilaceração;</li> <li>- Feridas abertas ou cortes profundos;</li> <li>- Queimaduras;</li> <li>- Entorses e distensões graves;</li> <li>- Concussões;</li> <li>- Fraturas menores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perda parcial da audição;</li> <li>- Dermatites;</li> <li>- Asma;</li> <li>- Lesões relacionadas com o trabalho nos membros superiores;</li> <li>- Doença passível de provocar incapacidade permanente menor.</li> </ul>
Extremos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amputações;</li> <li>- Fraturas graves;</li> <li>- Lesões múltiplas ou mortais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doença aguda que provoque morte;</li> <li>- Doença terminal;</li> <li>- Incapacidade permanente significativa.</li> </ul>

Fonte - Pinto, A. (2008). Manual de Segurança, 3ª Edição. Lisboa: Edições Sílabo.

Através da interligação dos quadros anteriores, é possível calcular o risco de uma forma simplificada através da fórmula matemática [6.1], ilustrada na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Forma simplificada de estimar o risco

Probabilidade de ocorrer dano	Gravidade do dano		
	Ligeiro	Moderado	Extremo
Muito improvável	Risco muito baixo	Risco muito baixo	Risco elevado
Pouco provável	Risco muito baixo	Risco médio	Risco muito elevado
Provável	Risco baixo	Risco elevado	Risco muito elevado
Muito provável	Risco baixo	Risco muito elevado	Risco muito elevado

Fonte - Pinto, A. (2008). Manual de Segurança, 3ª Edição. Lisboa: Edições Sílabo.

A Tabela 6.7 ilustra a quantificação e qualificação da probabilidade e gravidade do acidente, definindo níveis de risco.

Tabela 6.7 - Níveis de risco - Acidente

Acidente			
Probabilidade	5	Muito provável	Já ocorreu “nas suas” obras duas ou mais vezes por ano
	4	Provável	Já ocorreu nas “suas” obras uma vez por ano, ou menos que uma vez por ano
	3	Possível	Tem conhecimento que já ocorreu noutras obras
	2	Pouco provável	Há referência que já ocorreu no sector da construção
	1	Remota	Não conhece nenhum relato de acidente nessas circunstâncias
Gravidade	5	Muito séria	Provoca a morte ou incapacidade permanente absoluta
	4	Séria	Provoca incapacidade permanente parcial ou incapacidade temporária com duração superior a 90 dias
	3	Importante	Provoca incapacidade temporária com duração inferior a 15 dias
	2	Significativa	Provoca incapacidade temporária com duração inferior a 15 dias
	1	Moderada	Lesões ligeiras que são tratadas com os meios existentes no estaleiro

Fonte - Pinto, A. (2008). Manual de Segurança, 3ª Edição. Lisboa: Edições Sílabo.

Com a conjugação da gravidade e da probabilidade do acidente, pode-se qualificar o nível de risco, com recurso à fórmula [6.1], os resultados dos níveis de risco apresentam-se na Tabela 6.8. Todos os riscos com valor superior a 15, inclusive, devido à gravidade, e também o 5V e o 10V, são considerados riscos elevados, os riscos com valores entre 8 e 14, devido à gravidade, e

também o 4A, são considerados médios e os riscos com valor inferior a 8 são considerados baixos.

Tabela 6.8 – Níveis de risco - Gravidade

Níveis de Risco R = P x G		Gravidade				
		1	2	3	4	5
Probabilidade	1	1	2	3	4 A	5 V
	2	2	4	6	8	10 V
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

Fonte - Pinto, A. (2008). Manual de Segurança, 3ª Edição. Lisboa: Edições Sílabo

Este método pela sua simplicidade, apesar de ser algo subjetivo, é utilizado por muitas empresas nomeadamente pelas Infraestruturas de Portugal, S.A.

A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho tem também um método de avaliação de riscos disponível para qualquer utilizador de forma gratuita. Trata-se de uma ferramenta *online* denominada “Online interactive Risk Assessment” (OiRA), disponibilizada pelo website da agência (Online interactive Risk Assessment | (oiraproject.eu)). Este método permite fazer uma avaliação dos riscos de uma obra através de uma interação do tipo “pergunta-resposta” no *website* do OIRA, sendo que depois este produz um relatório que emite um plano de ação que apresenta os riscos identificados e quais as medidas de prevenção que devem ser tidas em conta para evitar acidentes de trabalho.

Um dos métodos de avaliação de riscos desenvolvido por Oliveira, C. (2104) é um método objetivo e fiável, pois é baseado em estatísticas de acidentes de trabalho e de não conformidades em obra e baseado na inteligência artificial, dando resposta à ISO 31000.

É de referir que, quando não se resolvem as anomalias de imediato em obra, o risco de acidente aumenta ao longo do tempo, razão pela qual o nível de risco das anomalias é agravado de um coeficiente de repetição em função do tempo que a anomalia permanece por resolver, como se pode observar no fluxograma da Figura 6.40.

Após determinar o nível de risco das várias anomalias da obra, passa-se à compilação dos níveis de risco das anomalias, que depois determina o nível de risco da obra referente à data da visita.

A Figura 6.40 apresenta o fluxograma da determinação do nível de risco, com a representação de todas as etapas para a sua concretização.

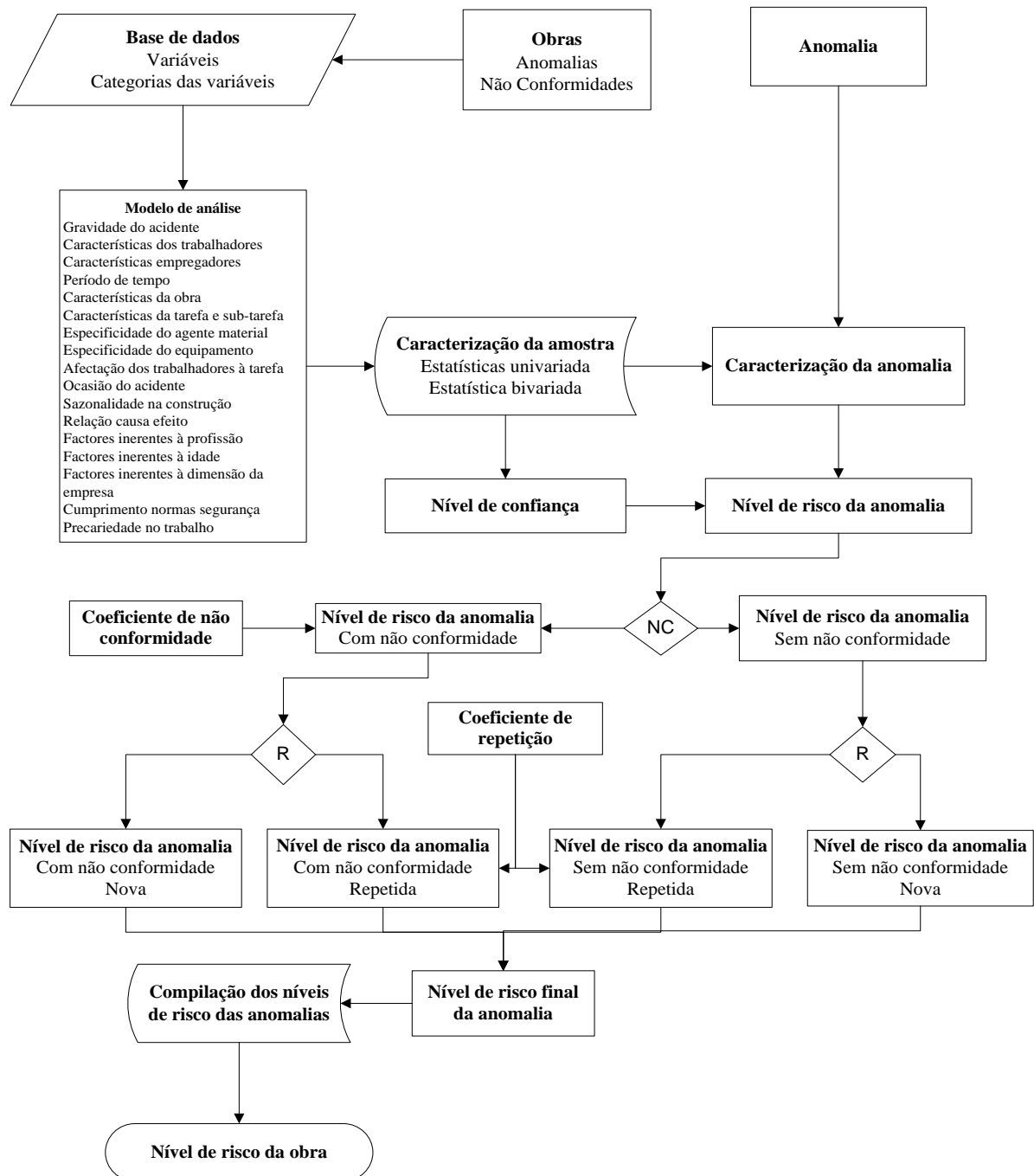


Figura 6.40 - Fluxograma de avaliação de risco da obra

Este fluxograma da aplicação informática de avaliação de risco da obra, durante a visita à obra, faz-se observação visual, fotográfica e descrição da anomalia. A anomalia é executada com base nas variáveis e respetivas categorias, o cálculo de nível de risco é dado através do modelo de

avaliação de risco e a partilha de dados é realizada com a compilação de dados e envio do relatório de inspeção de segurança e saúde no trabalho para os responsáveis da obra.

### 6.5.2 Análise de acidentes e doenças profissionais na Construção/Reabilitação

A análise de acidentes de trabalho e de doenças profissionais na Construção/Reabilitação 4.0 tem uma importância muito grande. Se por um lado, se se souber como os acidentes aconteceram, irá permitir numa próxima vez evitá-los. Isto porque da análise de acidentes de trabalho elaborada por Reis, C. (2008) constatou-se que os acidentes de trabalho em obras distintas e com trabalhadores distintos ocorrem na maior parte das vezes pelos mesmos motivos. O que quer dizer que existe uma tendência para cometer os mesmos erros independentemente da empresa envolvida, bem como dos trabalhadores. Logo é importante conhecer como estes acontecem e fazer uma listagem dos erros mais comuns a fim de os evitar, tendo como consequência direta a diminuição dos acidentes.

Esta metodologia para além de dar uma ideia das relações a evitar sempre que a probabilidade de ocorrência de acidentes é alta ou muito alta (4 ou 5), como se pode constatar na Figura 6.41, ainda apresenta as precauções (Figura 6.42) e recomendações (Figura 6.43) a ter para evitar os acidentes, apenas para os casos onde a ocorrência de acidentes é alta ou muito alta.

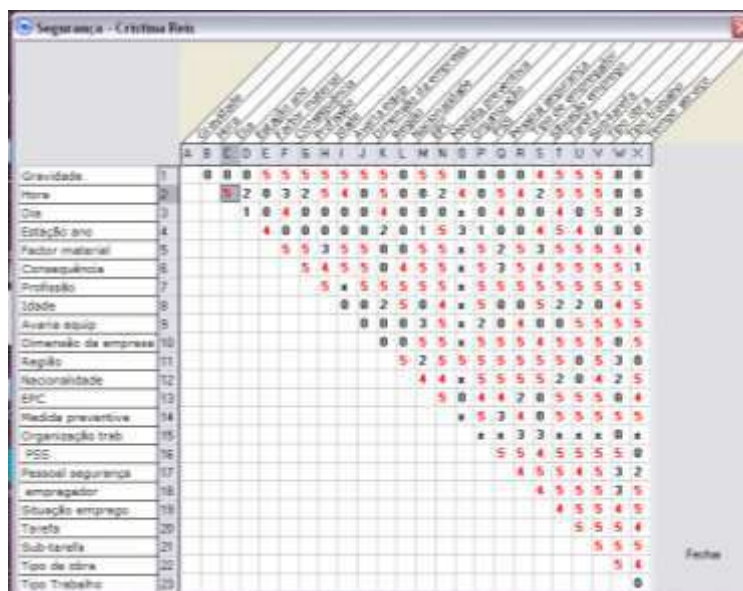


Figura 6.41 - Matriz do modelo matemático desenvolvido por Cristina Reis referente à probabilidade de ocorrência de acidentes

Precauções		Recomendações	
	1º Perigo	2º Perigo	3º Perigo
Por dia/semana	Das 0:00 as 12:00	Das 14:00 as 17:00	
Segunda-feira	Das 0:00 as 12:00	Das 14:00 as 17:00	
Terça-feira	Das 0:00 as 12:00	Das 0:00 as 12:00	
Quarta-feira	Das 0:00 as 12:00	Das 0:00 as 12:00	
Quinta-feira	Das 0:00 as 12:00	Das 0:00 as 12:00	
Sexta-feira	Das 0:00 as 12:00	Das 0:00 as 12:00	
Das 0:00 as 12:00	Das 0:00	Das 0:00	Das 0:00
Das 12:00 as 14:00	Das 0:00	Das 0:00	Das 0:00
Das 14:00 as 17:00	Das 0:00	Das 0:00	Das 0:00
Das 17:00 as 24:00	Das 0:00	Das 0:00	Das 0:00

Figura 6.42 - Precauções para evitar os acidentes sempre que esteja em causa o dia da semana e determinadas horas

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	Inserir Recomendação
<b>RECOMENDAÇÕES DIVERSAS</b>															
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prever como será feito o transporte de trabalhadores deslocados e por quem deva ser feito esse transporte. Sugere-se que este transporte seja feito por pessoal que não trabalhe na construção e que tenha habilitação profissional para o fazer;</li> <li>- Os condutores que transportam os trabalhadores devem ter carta de profissional de transporte de passageiros;</li> <li>- O transporte dos trabalhadores da construção deveria ser regulamentado.</li> <li>- Para evitar o sono deve-se diminuir o consumo de alimentos que provocam elevada concentração de glicose no sangue, como doces, geleias, mel, etc. e dar preferência a alimentos de baixo índice de glicemia, como pão integral, arroz, feijão, lentilhas [95].</li> <li>- Preparar as ementas no refeitório da obra tendo em conta a ingestão de alimentos baixos em glicemia;</li> <li>- Principalmente no Verão alargar o horário de almoço para permitir uma pequena sesta de uma hora logo após a refeição, evitando também uma exposição ao trabalho nas horas de maior calor.</li> </ul>															

Figura 6.43 - Recomendações para evitar os acidentes sempre que esteja em causa o dia da semana e determinadas horas

Existem vários exemplos e todos distintos de precauções e recomendações, em função da aprendizagem que se obteve com o desenvolvimento da base de dados de acidentes de trabalho no setor da construção, referente a 709 acidentes, graves e mortais que permitiu criar o modelo

matemático e com o conhecimento dos acidentes desenvolver um conjunto de precauções e recomendações distintos para cada um dos cruzamentos das variáveis dois a dois.

Quantos às doenças profissionais têm a sua importância pois a saúde é um bem-estar necessário para todos. Pela listagem do Decreto-Lei n.º 6/2001 de 5 de maio, revista pelo Decreto Regulamentar n.º 76/2007, de 17 de julho, consegue-se identificar as doenças profissionais e com este conhecimento consegue-se minimizar a sua ocorrência.

No setor da reabilitação podem dar-se como exemplos de doenças profissionais graves o surgimento do miotiloma do pulmão provocado pela exposição ao amianto, e o do Parkinson pelo trabalho contínuo com martelo pneumático, entre outros.

## **6.6 Aplicação dos princípios gerais de prevenção na Reabilitação**

É fundamental nos trabalhos de reabilitação cumprir com a aplicação dos princípios gerais de prevenção, pois contribuem para que em qualquer fase de intervenção se possam identificar ou conhecer os riscos, analisando-os a fim de os evitar ou prevenir. Os princípios gerais de prevenção servem para:

- A integração da segurança;
- A proteção da saúde de todos os intervenientes no estaleiro, na elaboração do projeto da obra;
- O autor do projeto ter em atenção os princípios gerais de prevenção em matéria de segurança e saúde, em especial nas opções arquitetónicas, técnicas e organizativas que se destinem a planificar os trabalhos ou as fases, bem como a previsão do prazo para a realização desses trabalhos.

Para garantir a integração da segurança e a proteção da saúde de todos os intervenientes no estaleiro, na elaboração do projeto da obra, deve o autor do projeto ter em atenção os princípios gerais de prevenção em matéria de segurança e saúde, em especial nas opções arquitetónicas, técnicas e organizativas que se destinem a planificar os trabalhos ou as fases, bem como a previsão do prazo para a realização desses trabalhos. No artigo n.º 15 da Lei n.º 3/2014 de 28 de janeiro, que procede à segunda alteração à Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, sobre segurança, higiene e saúde no trabalho estão previstos onze princípios gerais de prevenção, que permitem em qualquer fase de intervenção identificar ou conhecer os riscos para os analisar a fim de os evitar ou prevenir. Os princípios gerais de prevenção são os seguintes:

1. Evitar os riscos;
2. Avaliar os riscos que não possam ser evitados;
3. Combater os riscos na origem;
4. Adaptar o trabalho ao homem;
5. Ter em conta a evolução da técnica;
6. Substituir o que é perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso;
7. Planificar a prevenção;
8. Dar prioridade à prevenção coletiva em relação à individual;
9. Dar instruções adequadas aos trabalhadores;
10. Integrar a avaliação dos riscos para a segurança e a saúde do trabalhador no conjunto das atividades da empresa, estabelecimento ou serviço, devendo adotar as medidas adequadas de proteção;
11. Assegurar, nos locais de trabalho, que as exposições aos agentes químicos, físicos e biológicos e aos fatores de risco psicossociais não constituem risco para a segurança e saúde do trabalhador.

#### **6.6.1 - Equipamentos de proteção coletiva (EPC) na Reabilitação 4.0**

Um dos princípios gerais de prevenção é dar prioridade à prevenção coletiva em relação à individual, se todos estiverem protegidos a proteção individual acaba por não ser relevante. Tal como referido em 6.4 o desenvolvimento de novas tecnologias é um forte aliado dos equipamentos de proteção coletiva na Reabilitação 4.0, pois esse desenvolvido é pensado tendo em atenção a proteção coletiva dos trabalhadores. Isto porque são concebidos tendo em conta a necessidade de um aumento de produtividade aliado à segurança dos equipamentos e dos trabalhadores. Os Equipamentos de Proteção Coletiva modernos visam assim executar os trabalhos de forma cada vez mais rápida e em segurança.

A nova revolução são os robôs de andaimes, que permitem proceder à montagem sem expor os trabalhadores ao risco, sendo operados apenas por um trabalhador que faz a sua montagem em

segurança desde o solo. Trata-se no fundo de um colega de trabalho digital LIFTBOT - um sistema de elevação robótico capacitado pela plataforma de análise de dados. Com efeito, na montagem e desmontagem de andaimes, a grande revolução é a reduzida mão-de-obra que é necessária para a sua montagem e desmontagem. É mais seguro, pois trata-se de outra forma de executar trabalhos de alto risco e de elevada probabilidade de ocorrência de acidentes, segundo o modelo de acidentes de Reis, C. (2008). Na Figura 6.44 apresenta-se a solução de implementação da montagem de andaimes robôs sempre que o orçamento para a execução da obra, o permita.



Figura 6.44 - Robôs de andaimes  
Fonte: <https://www.kewazo.com/>

Além da vantagem da redução do número de trabalhadores, outra consequência será a economia de cerca de 44% em mão-de-obra, para proceder à montagem e desmontagem de andaimes. Assim, um sistema de elevação robótico melhora as condições de trabalho para seus trabalhadores e fornece dados operacionais aos clientes, permitindo uma gestão mais proativa de projetos individuais e das empresas em geral.

### 6.6.2 - Equipamentos de proteção individual (EPI) na Reabilitação 4.0

Quando a proteção coletiva por si só não é 100% eficaz para proteger o trabalhador de eventuais riscos recorre-se à proteção individual. Por exemplo, para a execução dos trabalhos de remoção de material com amianto é necessário utilizar equipamentos de proteção individual adequados para evitar o risco proveniente da sua exposição aos trabalhadores. Exige a proteção da totalidade do corpo através de equipamento especializado (Pandita, 2006), tais como:

- Fatos-macacos descartáveis (Figura 6.45);
- Luvas descartáveis (Figura 6.46);
- Máscaras com filtro (Figura 6.47);
- Botas laváveis (Figura 6.48);
- Óculos de proteção (Figura 6.49).



Figura 6.45 - Fato-macaco descartável (<http://www.fardaseuniformes.com/>)



Figura 6.46 - Luvas descartáveis (<http://www.rivitex.pt/>)



Figura 6.47 - Máscara com filtro (<http://images.sstatic.com/>)



Figura 6.48 - Botas laváveis ([www.equiprotec.com/](http://www.equiprotec.com/))



Figura 6.49 - Óculos de proteção descartáveis ([www.materialesegurancaepi.com](http://www.materialesegurancaepi.com))

### **6.6.3 Informação e Formação para a segurança e saúde na Reabilitação 4.0**

Outro dos princípios gerais de prevenção é o de dar informação e formação aos trabalhadores. Na Reabilitação 4.0 a informação e a formação são cada vez mais importantes, porque a evolução da tecnologia é grande e apenas trabalhadores especializados sabem operar com esse tipo de equipamentos ou máquinas. A Reabilitação 4.0 foge ao que é a construção tradicional,

na qual já existem anos de saber acumulado e passagem de testemunho dos trabalhadores. A Reabilitação 4.0 exige trabalhadores motivados para aprender, pois sem aprendizagem não se consegue utilizar estes novos equipamentos, cada vez mais seguros, mas apenas se se souberem utilizar. O reabilitar cria um grau de risco maior do que construir de novo, e cada obra tem particularidades totalmente diferentes umas das outras, razão pela qual é imprescindível dar informação sobre a obra antes de ela começar e formação sobre as medidas preventivas a adotar.

### **6.7 Medidas preventivas de segurança e saúde na Reabilitação 4.0**

As medidas preventivas de segurança e saúde na Reabilitação 4.0 são associadas à emergência de novas tecnologias de ponta, como por exemplo a utilização de sensores acoplados aos trabalhadores que permitem fazer um registo da temperatura do trabalhador, da humidade relativa do local onde o trabalhador se encontra, do ritmo cardíaco do mesmo, da qualidade do ar, etc. Isto permite atuar sempre que as medidas de segurança estejam a ser infringidas. Estes sensores dão informação em tempo útil do que se está a passar, para, em caso de necessidade, se poder agir de imediato. Inclusive na remoção do amianto, os trabalhadores andam com um dosímetro que permite medir a concentração de partículas a que os trabalhadores estiveram expostos durante a execução dos trabalhos.

Outra grande revolução é a utilização de drones que permitem executar muitos trabalhos que antes envolviam o risco de queda em altura e que com a sua utilização além de mais rápido, não envolve riscos.

Um caso concreto de medidas preventivas de segurança é ilustrado na Figura 6.50, onde são utilizados dosímetros para detetar e medir gases, para medir a concentração de dióxido de carbono e diversos gases nocivos para a saúde dos trabalhadores e outros para medir a concentração de poeiras e de ruído.



Figura 6.50 - Medidor de gases nos trabalhadores e nos locais confinados  
Fonte - Detecção de Gases - Tudo que você precisa saber - LEL Ambiental

### 6.7.1 Particularidades da segurança e saúde na Reabilitação 4.0

Nas torres eólicas são cada vez mais usados drones para análise das patologias e para a sua manutenção, o que diminui drasticamente o risco de acidentes, pois elimina o principal risco neste tipo de trabalhos que é o de queda em altura dos trabalhadores.

Apresenta-se o exemplo da empresa Aeronex, que se dedica ao fabrico de drones, neste caso aplicados à manutenção de turbinas eólicas e sendo utilizados no descongelamento e limpeza das pás eólicas. Na Figura 6.51 mostra-se um exemplo do procedimento de descongelamento e limpeza das pás eólicas através de drones.



Figura 6.51 - Utilização de drones para fazer a manutenção de torres eólicas  
Fonte: Manutenção de turbinas eólicas com drones pesados | EngenhariaCivil.com

O equipamento pesado é ligado desde o solo a um cabo de eletricidade que será a fonte de energia e uma tubagem para transporte de líquidos. Este permite a elevação até 200

quilogramas. Permitindo que o drone possa trabalhar por muito tempo, sem necessidade de controlo constante do nível de energia das baterias.

Através do recurso de bombas de alta pressão são bombados os líquidos para descongelamento e limpeza existentes num veículo de transporte, que inclui um gerador de energia, um heliporto e todos os componentes indispensáveis à intervenção.

Existe já uma tecnologia Suíça, a *SenseFly*, que permite proceder à inspeção de barragens através de drones de última geração munido de equipamento fotográfico de alta definição (Figuras 6.52 e 6.53). O que vinha sendo hábito na inspeção de barragens pelos métodos tradicionais era o uso de plataformas suspensas, estando associados os riscos de queda em altura e afogamento, além da demora na execução dos trabalhos e dos riscos para os trabalhadores na montagem das plataformas suspensas. A inspeção com recurso a drones é muito mais rápida e precisa, pois permite um registo fotográfico vasto sobre o estado de conservação da barragem e sem acarretar riscos para o trabalhador. Tem que ser feito por um trabalhador especializado, neste caso um engenheiro civil que saiba operar com o drone. Na maior parte dos casos faz-se uma integração com software para permitir uma leitura precisa dos registos feitos com o drone.



Figura 6.52 - Utilização de drones para inspeção de barragens  
Fonte - Inspeção de barragens com uso de drone | [www.dronefilmagemarea.com](http://www.dronefilmagemarea.com)



Figura 6.53 – Exemplo de drone na inspeção de barragem

Fonte: Inspeção de barragens com uso de drone | [www.dronefilmagemarea.com](http://www.dronefilmagemarea.com)

#### **6.7.2 Empresas especializadas na execução de tarefas na Reabilitação 4.0**

No âmbito da segurança na Reabilitação 4.0 é crescente a exigência de empresas especializadas para a execução dos trabalhos, pois é necessário que os trabalhadores tenham conhecimento de novas tecnologias e métodos de análise e inspeção distintos dos tradicionais.

Por exemplo, no que se refere a retirar o amianto das construções, em Portugal estes trabalhos só podem ser feitos com autorização prévia da ACT para o efeito e apenas as empresas autorizadas pela ACT o podem fazer.

Nos trabalhos em altura, em que se recorre, por exemplo, ao uso de material de alpinismo para fazer a limpeza de fachadas de edifícios (figura 6.54), ou para a montagem e desmontagem de andaimes e de gruas, existem empresas especializadas para efetuar esses trabalhos.



Figura 6.54 - Limpeza das fachadas de edifícios com recurso a equipamento de alpinismo

Fonte - jorgelozano.pt

Na atualidade existem empresas especializadas para operar com drones, como a empresa Aeronex que é especializada no fabrico e operação de aeronaves não tripuladas. Fica sediada em Riga, na Letónia, e encontra-se a desenvolver um software para permitir a autonomia dos drones e a automatização integral das tarefas de manutenção, possibilitando a dispensa de operadores humanos.

A empresa tecnológica Suíça *SenseFly*, é especializada em drones com equipamento fotográfico de alta precisão para as inspeções de grandes obras de engenharia, como barragens, pontes, viadutos, túneis, etc.

Outra grande revolução é a inspeção de pilares de pontes com o sonar 3D, trata-se de uma tecnologia recente que permite aos engenheiros no *Minnesota Department of Transportation* (MnDOT) visualizar a subestrutura de uma ponte com imagens de alta resolução (Figura 6.55), sem ter que recorrer aos mergulhadores, eliminando assim o risco. Para além disso, devido à má visibilidade em águas turvas dos sistemas de medição de profundidade, consegue-se com esta tecnologia observar o que os mergulhadores não conseguem ver.

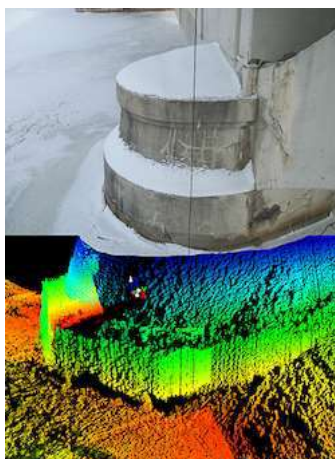


Figura 6.55 - Imagem do Sonar 3D à volta de um pilar de uma ponte  
Fonte - Inspeção de pilares de pontes com sonar 3D (mra.pt)

### 6.8 Uso de novas tecnologias 4.0 aplicadas à segurança

Como se pode verificar no ponto anterior, na Reabilitação 4.0 a tecnologia está cada vez mais associada à segurança, pois desenvolve formas de trabalhar mais seguras e eficazes para os trabalhadores. As Figuras 6.56 e 6.57 mostram dois exemplos de robôs usados para fazer a inspeção de passagens hidráulicas em espaços muito pequenos, o que seria fisicamente impossível de realizar por seres humanos.



Figura 6.56 - Inspeção das passagens hidráulicas com recurso a robôs  
Fonte - Egis, Road Operation Portugal



Figura 6.57 - Utilização de robô para inspeção de passagens hidráulicas  
Fonte - Egis, Road Operation Portugal

Salienta-se que a tecnologia tem os seus riscos, dado que não se contactam com os objetos de perto, o que por vezes pode induzir a erros. Existem também os riscos de utilização de equipamentos ou máquinas cuja manobrabilidade é bastante complexa e difícil, sendo nestes casos obrigatória formação especializada para se poder operar com segurança.

Na reabilitação de tubagens de redes de drenagem de águas residuais domésticas ou pluviais a grande vantagem da aplicação do método CIPP (*Cured in Place Pipe*) é a de utilizar a tubagem existente (danificada) para servir de molde à “nova” tubagem que surgirá dentro desta, não necessitando de abertura de vala, minimizando desta forma o risco de acidentes de trabalho por soterramento que são muito frequentes. O método consiste em através das caixas de visita adjacentes ao troço instalar uma manga impregnada em resina sintética que se liga às paredes da tubagem existente. Esta nova manga é mais resistente, estanque e duradoura do que uma tubagem tradicional. Muitas vezes, começa-se por uma limpeza das condutas por lavagem de alta pressão como se ilustra nas Figura 6.58 e 6.59.



Figura 6.58 - Equipamento hidrodinâmico de alta pressão  
Fonte - Retube soluções tecnológicas



Figura 6.59 - Mangueira e ponteira de alta pressão  
Fonte - Retube soluções tecnológicas

Quando há necessidade de um equipamento desentupir uma canalização, pode aspirar (Figura 6.60) sem que haja necessidade de profissionais terem contacto direto com os resíduos. Procede à sucção de resíduos de natureza diversa, com variado grau de viscosidade, densidade, granulometria e humidade. Salienta-se que todo o processo é acionado mecanicamente.



Figura 6.60 - Equipamento de limpeza/desobstrução Iveco  
Fonte - Retube soluções tecnológicas

A inspeção de condutas robotizadas é uma metodologia utilizada na execução de inspeções por câmaras de vídeo em condutas instaladas e redes de saneamento em zonas urbanas, normalmente enterradas e que funcionam em regime de escoamento livre. É muito vantajosa pois não é necessário abrir valas, nomeadamente na reparação das condutas, minimizando o risco de acidentes de trabalho por soterramento.

O dispositivo carro trator (Figura 6.61) para a inspeção das condutas com câmara de vídeo móvel (Retube soluções tecnológicas), é composto por:

- Câmara de vídeo, oscilo-giratória, que permite uma visão de 360° sobre as condutas e a captação de uma imagem axial com iluminação homogénea;
- Unidade móvel de controlo da câmara, com acessórios para a configuração dos vários diâmetros de condutas, o sistema está dotado de inclinómetro para a medição da pendente instantânea e procedimento de calibração;
- Unidade de controlo portátil com microprocessador, com monitor de observação, painel e comandos de controlo e equipamento de visualização de dados, notificação de estados de operação de indicadores de erro;
- Tambor elétrico de cabo de câmara, com dispositivo de medição da longitude.



Figura 6.61 - Carro trator  
Fonte - Retube soluções tecnológicas

### 6.8.1 Veículos aéreos não tripulados (VANT)

Já anteriormente no ponto 6.7.1, se fez uma abordagem aos veículos aéreos não tripulados, pois eles são um forte aliado da segurança nas obras de Reabilitação 4.0.

Um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), também conhecido como UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), é todo e qualquer tipo de aeronave que não necessita de piloto para ser dirigido. O voo é controlado automaticamente por computadores a bordo do avião, por navegador de controle remoto ou ainda por um piloto localizado em terra ou noutra veículo.

Existem VANTs de inúmeras formas, tamanhos, configurações e características. Inicialmente foram utilizados para fins militares (principalmente em missões perigosas para não serem executadas por humanos), sendo que atualmente as suas aplicações estão diversificadas e amplamente usadas na comunidade civil: detecção remota (utiliza diversos sensores: espectro magnético, químicos, biológicos, raios gama...), vigilância aérea (monitorização de grandes áreas a baixo custo, cartografia de incêndio, vigilância de animais, segurança rodoviária e de condutas de gás...), exploração mineral (cartografia geológica, detecção de recursos naturais no subsolo...), transporte, investigação científica, entre outras.

A Figura 6.62 mostra a inspeção realizada a um viaduto através da utilização tradicional de plataformas suspensas e a Figura 6.63 mostra essa inspeção realizada através de drones.



Figura 6.62 - Inspeção dos viadutos com recurso a plataformas suspensas  
Fonte - MBI 180 – WEMO-TEC

Recorrendo a um drone a inspeção de uma obra é muito mais célere e segura e pode ser feito as vezes que se quiser, sobretudo se se possui um drone na empresa. Desde logo, não existem riscos de queda em altura para os trabalhadores, sendo esta uma das principais vantagens, para além da rapidez na inspeção. Com efeito, os veículos aéreos não tripulados servem para ir a locais de difícil acesso e perigosos para os trabalhadores, o que também contribui para aumentar a segurança global de uma obra.



Figura 6.63 - Inspeção dos viadutos com recurso a drones  
Fonte - Egis, Road Operation Portugal

### 6.8.2 Realidade virtual através da modelagem da informação da construção (BIM)

Como referido no capítulo 4, o BIM (Building Information Modeling) é um sistema informático que permite aos seus utilizadores acederem e acrescentarem informações relevantes sobre o processo de construção. Representam uma nova maneira de representação, dentro dos sistemas CAD porque permitem não só a visualização em 3D, mas também a gestão de informação durante todo o ciclo de vida de um edifício.

Ter um projeto em BIM facilita por exemplo a informação sobre a constituição dos materiais de construção incorporados em obra, sendo deste modo evitável a implementação de metodologias de inspeção e diagnóstico para deteção de substâncias perigosas. O BIM ligado à segurança facilita também o desenho dos equipamentos de proteção coletiva (Figura 6.64) que são incorporados nos Planos de Segurança e Saúde das obras.

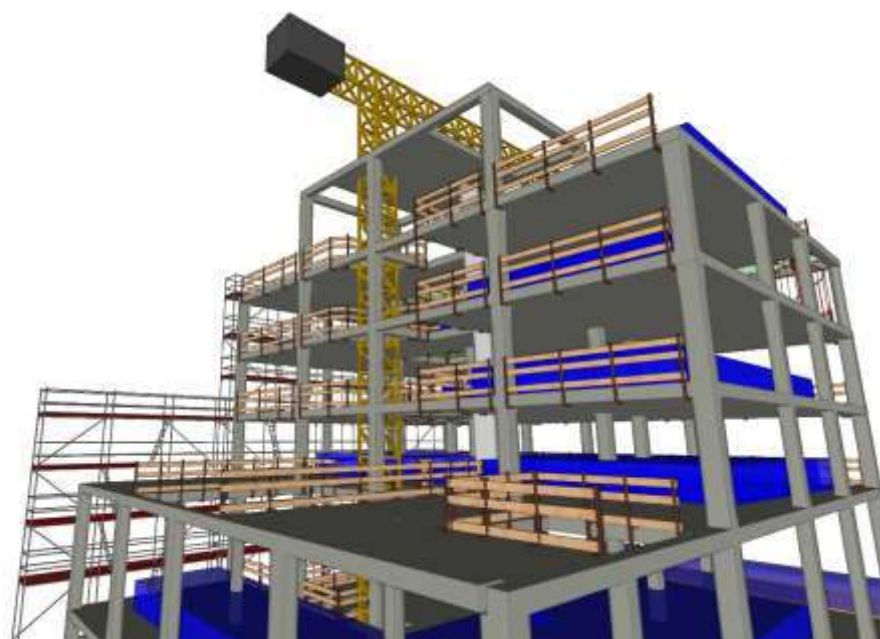


Figura 6.64 - Aplicação do BIM  
Fonte - Open BIM Health and safety - CYPE

Atendendo a que os benefícios que o BIM possibilita para a segurança em obra são muito significativos, estão a ser desenvolvidas várias inovações tecnológicas no sentido da melhoria e ampliação das suas capacidades, entre as quais se salienta um projeto que está a ser elaborado

pela Universidade do Minho, designado *BIM Safety*, que tem por objetivo realizar a integração das diferentes questões de segurança no projeto.

### **6.8.3 Sensores vestíveis, controlo informático e monitorização eletrónica das obras**

A tecnologia vestível baseia-se fundamentalmente num conjunto de dispositivos eletrónicos, especialmente câmaras e sensores, que podem ser incorporados na roupa, nos capacetes, nos relógios ou em outros acessórios, produzindo uma série de informações acerca da localização e saúde dos trabalhadores, podendo também servir para facilitar as comunicações.

Na construção, a aplicação principal destas tecnologias é nos equipamentos de proteção individual dos trabalhadores, sendo por exemplo utilizadas como câmaras nos capacetes para fazer o acompanhamento remoto dos projetos através de imagens a 360° ou para documentar as atividades dos trabalhadores ao longo do dia. Repare-se que quando os capacetes possuem um GPS são capazes de emitir um aviso de alerta, caso determinado trabalhador desmaie, entre num local não autorizado, etc.

Salienta-se que nas atividades que envolvem risco elevado por exposição a ar poluído, os capacetes podem também ser um bom auxiliar na segurança, ao ser possível terem por exemplo incorporado um sensor para deteção de monóxido de carbono, reduzindo assim o risco de envenenamento, dado este gás tóxico ser impercetível ao olfato humano.

A tecnologia vestível na construção aliada à segurança vai permitir avanços muito expressivos em obras de grande dimensão, onde o controle é mais difícil dada a elevada quantidade de trabalhadores envolvidos, como pode ser o caso da construção de uma barragem ou de um túnel. Entre outras, esses acessórios podem dar informações sobre a localização, temperatura corporal, cansaço ou níveis de stress de um trabalhador, bem como sobre a qualidade do ar ou a humidade relativa. Estas informações, disponibilizadas em tempo real, são um ótimo auxiliar para a tomada de decisão e para a gestão mais eficaz dos processos construtivos no sentido de se evitarem os acidentes.

#### 6.8.4 Internet das Coisas (IoT) e a segurança

A chegada da Internet das Coisas (IoT) veio aumentar significativamente a quantidade e qualidade da informação disponível ao longo de todo o processo de realização de uma obra de Construção/Reabilitação.

Assim, por exemplo, o uso do GPS permite fazer um mapeamento dos trabalhadores na obra e também uma visualização em tempo real da obra, como já referido no ponto 6.8.3 com a incorporação de câmaras ou GPS nos capacetes dos trabalhadores.

Também o software desenvolvido por Oliveira, C. (2014) sobre avaliação de riscos de acidentes em obra, permite em tempo real com uma simples visita à obra saber em que situação se encontra em termos de segurança, pois dá ao minuto a avaliação do risco de ocorrer um acidente e permite difundir em tempo real a situação da obra no que respeita à saúde e segurança no trabalho para todos os responsáveis pela obra.

Na figura 6.65, apresenta-se o nível de risco de uma determinada tarefa, que permite alertar os responsáveis para estas situações em tempo real. Toda a informação é enviada via internet para todos os intervenientes da obra que assim têm conhecimento do que está a acontecer e podem tomar as medidas devidas.

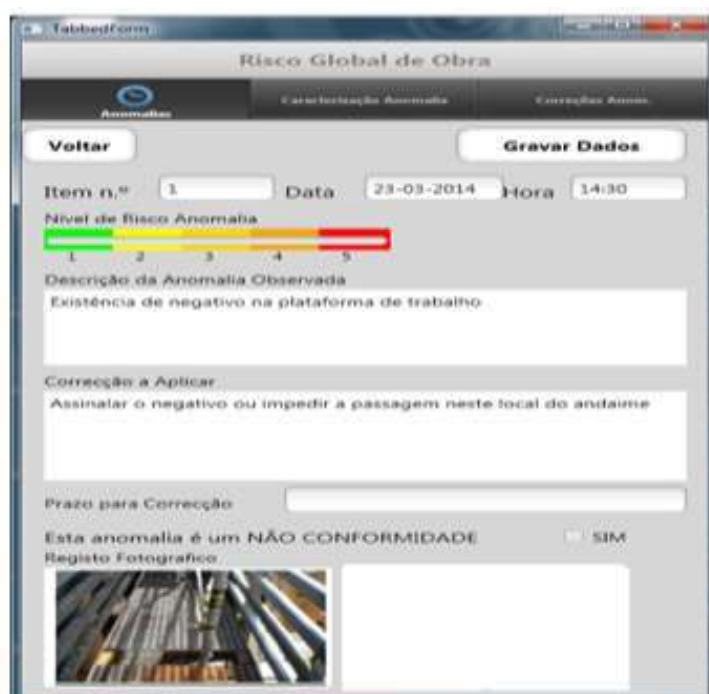


Figura 6.65 - Nível de risco de uma determinada tarefa  
Fonte - Oliveira, C. (2014)

Na figura 6.66, apresenta-se o nível de risco, bem como o histórico do risco ao longo da evolução da obra. No fim, o software permite elaborar um relatório final de Inspeção de segurança no trabalho e do risco da obra e das tarefas, onde constam todas as anomalias por resolver, as não conformidades e seu estado, o qual pode ser enviado em tempo real para todos os intervenientes.



Figura 6.66 - Nível de risco da obra  
Fonte - Oliveira, C. (2014)

## 6.9 Conclusões e Recomendações

Nas últimas décadas vem-se assistindo a melhorias consideráveis no campo da segurança e saúde na construção e reabilitação, fruto de uma maior consciencialização de todos os intervenientes para a relevância desta temática e da aplicação de inovações tecnológicas na prevenção e minoração dos problemas.

Com efeito, o campo da segurança e saúde está crescentemente interligado com o desenvolvimento tecnológico, pelo que são necessários recursos humanos cada vez mais especializados e qualificados, já que uma grande parte dos trabalhos exige conhecimentos e competências sobre o espaço digital. Só com trabalhadores com formação profissional apropriada é possível aproveitar positivamente a evolução tecnológica para a mitigação dos riscos correlacionados com a segurança e saúde no trabalho.

Existe atualmente já em Portugal legislação, a sua maioria com origem da União Europeia, sobre a segurança e saúde no trabalho, com particular destaque para o que respeita aos riscos de acidentes, aos produtos contendo amianto, à exposição a agentes químicos perigosos, aos resíduos de construção e demolição. No entanto, é de realçar que ainda não existe legislação

sobre a inspeção, diagnóstico e análise do amianto e de outros materiais com riscos especiais, como é o caso do chumbo e de materiais que o contêm.

De facto, nas operações de Reabilitação 4.0, os trabalhadores são confrontados com a presença de vários materiais perigosos, como o amianto, o chumbo, entre outros. Daí a importância de se fazer um levantamento inspetivo e de diagnóstico dos materiais com riscos especiais, recorrendo à Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM) e à Microscopia Eletrónica de Transmissão (TEM), de forma a ser possível promover cuidados adequados aquando de uma intervenção.

Por outro lado, devido à crescente importância da economia circular e da sustentabilidade dos materiais de construção, onde se pretende reutilizar ao máximo os materiais provenientes da desconstrução, é cada vez mais imperativo conhecer bem os materiais utilizados nas construções. Só com uma boa identificação dos materiais existentes se pode planear corretamente a sua separação e posterior reutilização.

As demolições sem qualquer preocupação de reaproveitamento dos materiais, embora mais baratas e rápidas, não permitem a recuperação de qualquer material com valor. O novo conceito de desconstrução vem valorizar a reutilização de elementos e materiais de construção, que passam assim a ter uma mais-valia comercial, pois deixam de ser considerados resíduos sem valor económico e sem qualquer tipo de aproveitamento posterior.

Um dos princípios gerais de prevenção é dar prioridade à técnica, devendo realizar-se os trabalhos tendo em conta o estado de evolução tecnológica, dado existirem hoje em dia equipamentos mais evoluídos e já com proteção coletiva incorporada e materiais mais amigos do ambiente e isentos de riscos nocivos para o trabalhador. Pelo que se se tiver isso em consideração o risco de acidente será substancialmente menor.

A evolução tecnológica produziu impactos muito positivos na segurança e saúde, permitindo potenciar os princípios preventivos tanto em termos individuais como coletivos e, desta forma, reduzir o risco de acidentes. Equipamentos como os sistemas de cofragem, plataformas de trabalho, andaimes, entivação de valas, plataformas elevatórias, escoramentos estruturais são presentemente muito mais seguros para os trabalhadores devido às melhorias que lhes foram introduzidas.

É de todo conveniente que as medidas preventivas de segurança e saúde estejam crescentemente alicerçadas nos novos equipamentos com tecnologias de ponta, como os

Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), os Robôs, o BIM, a Internet das Coisas, o GPS, a Tecnologia Vestível, entre outros.

Por exemplo, a utilização de dispositivos eletrônicos, especialmente câmaras e sensores, acoplados na roupa ou nos capacetes permitem fazer um registo da temperatura do trabalhador, da humidade relativa do local onde o trabalhador se encontra, do ritmo cardíaco do mesmo, da qualidade do ar, etc., trazendo benefícios claros para a segurança e saúde dos trabalhadores.

Outros exemplos podem ser dados, como os trabalhos cuja execução envolve riscos muito elevados para os trabalhadores, e que através da utilização de drones (trabalhos em altura) ou de robôs (trabalhos em espaços de difícil acesso como condutas hidráulicas) esses riscos são eliminados.

Neste novo contexto, a informação e a comunicação possuem uma relevância decisiva. Com efeito, a disponibilização de informação e a facilidade de comunicação em tempo real são fundamentais para a tomada de decisão e para a gestão mais eficaz dos processos construtivos com o objetivo de se evitarem os acidentes.

Neste sentido, a chegada da Internet das Coisas (IoT) veio aumentar significativamente a quantidade e qualidade da informação acessível ao longo de todo o processo de realização de uma obra de Construção/Reabilitação.

Em particular na Reabilitação 4.0, a informação e a formação são cada vez mais importantes, porque a evolução da tecnologia é grande e apenas trabalhadores especializados conseguem operar com eficiência e segurança a maioria dos novos equipamentos ou máquinas. A Reabilitação 4.0 foge ao que é a construção tradicional, na qual já existem anos de saber acumulado e passagem de testemunho dos trabalhadores. A Reabilitação 4.0 exige trabalhadores motivados para aprender, pois sem conhecimentos não se consegue utilizar estes novos equipamentos, cada vez mais seguros, mas apenas se se souberem utilizar adequadamente.

Neste âmbito, e como há falta de recursos humanos especializados era importante que as entidades responsáveis pelo setor da construção promovessem cursos de formação profissional para operar com estes novos equipamentos muito avançados tecnologicamente.

Também se recomenda que os trabalhos que envolvam o uso de novas tecnologias de carácter não tradicional sejam, sempre que possível, executados por empresas especializadas para o efeito, pois assim diminui-se o risco de acidentes.

## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES GERAIS

Estamos atualmente na alvorada de uma nova revolução industrial - **a 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0** - de contornos ainda imprecisos, mas cujo impacto está a mudar a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos, produzindo inovações disruptivas muito importantes para o nosso futuro coletivo.

Com efeito, no nosso quotidiano vamos assistindo à introdução de tecnologias inovadoras e à criação de novos hábitos com repercussões muito significativas em todas as atividades.

No campo empresarial, a magnitude e a velocidade das transformações na sociedade são visíveis nas alterações das exigências da procura e na intensificação da competitividade nos mercados, tornando necessário que as empresas repensem e redefinam as suas estratégias de modo a poderem responder apropriadamente a esta nova realidade.

Como seria de esperar, o contexto emergente está a provocar fortes mudanças no setor da Construção e da Reabilitação. **A integração de novos processos e de tecnologias inovadoras surge como o caminho natural para reduzir a ineficiência e os custos associados, aumentando a competitividade e a produtividade do setor.**

Com uma crescente utilização das tecnologias, assiste-se paulatinamente à evolução das formas de projetar, construir e gerir as obras e à progressiva afirmação da denominada Construção e a Reabilitação 4.0.

Perante esta situação de mudança de paradigma, a elaboração deste Projeto de Investigação e Capacitação das Empresas no Mercado de Reabilitação “Os Desafios e as Soluções na Reabilitação Urbana 4.0 - Materiais, Tecnologias, Recursos Humanos e Segurança” pretendeu contribuir para a reorientação e melhoria das estratégias das empresas da construção e da reabilitação, respondendo às crescentes exigências e expectativas do mercado, através do desenho e implementação de novas soluções no âmbito da Reabilitação Urbana Inteligente e Sustentável.

Assim sendo, este Projeto visou apoiar e capacitar os diferentes intervenientes no setor, possibilitando-lhes ferramentas e competências ao nível dos Materiais, das Tecnologias, dos Recursos Humanos e da Segurança, de molde a poderem enfrentar mais eficientemente as

oportunidades e os desafios emergentes, encontrando as melhores soluções na Reabilitação Urbana 4.0.

Visou, igualmente, **promover a divulgação de conhecimento sobre a Reabilitação Urbana 4.0, bem como aumentar as interações entre empresas, ajudando as empresas de construção a responderem de forma mais competitiva e ajustada aos múltiplos reptos que o mercado de reabilitação urbana pressupõe**, tendo em consideração os fatores políticos, económicos, sociais, ambientais e tecnológicos que marcam a contemporaneidade.

Em Portugal existe ainda um grande caminho a percorrer pelas empresas do setor. Com efeito, muitas empresas de construção possuem ainda uma mentalidade e um comportamento conservador, observável na significativa inércia organizacional e operacional que as caracteriza.

Para inverter este panorama, é preciso promover nas empresas de Construção e Reabilitação uma cultura de mudança e de valorização do conhecimento, alicerçada nos seus quadros de chefia, implementando processos contínuos e iterativos de modernização tecnológica e de melhoria da gestão das obras.

Ao longo deste trabalho de investigação pôde constatar-se como a resposta às dificuldades deve fazer-se através da inserção das empresas num ambiente mais competitivo, onde o aumento da produtividade, a aposta na tecnologia, a inovação estratégica e uma nova cultura organizacional são essenciais e, assim sendo, as prioridades e os esforços das empresas da Construção e da Reabilitação devem estar orientados nessa direção.

Importa aqui destacar, como desde sempre a AICCOPN tem feito de forma veemente, a realidade das pequenas e médias empresas do setor da Construção e da Reabilitação, as quais têm muitas dificuldades em se modernizarem tecnologicamente, apresentando ainda níveis de competitividade relativamente baixos para sobreviverem num mercado fortemente concorrencial e globalizado.

Ora, este Projeto evidenciou claramente a necessidade e importância das novas tecnologias serem promovidas junto das pequenas e médias empresas do setor, considerando-se essencial a participação das associações profissionais, das universidades e outras instituições de ensino, das entidades públicas e dos profissionais do sector no sentido de transmitirem a estas empresas os novos conhecimentos e competências provenientes da 4ª Revolução Industrial.

É conhecido que até ao final desta década irá ser colocada à disposição de Portugal uma quantia superior a € 60 mil milhões de apoio financeiro vindo da União Europeia para resolver os problemas estruturais seculares que assolam o território nacional, sendo que uma parte considerável desse valor será direcionado direta ou indiretamente para o setor da Construção e Reabilitação.

Assim, atendendo a esta imensa quantia de dinheiro, é esperado nos próximos anos o lançamento de um grande volume de obras no País, o que irá exigir um enorme esforço às empresas da Construção e Reabilitação, ao nível dos seus recursos humanos, materiais e tecnológicos, para responderem aos desafios que a execução destas obras coloca.

Neste sentido, **entende-se como prioritário que o Governo crie as condições que permitam ultrapassar as dificuldades que enfrentam atualmente as empresas de Construção e Reabilitação nacionais, em particular a escassez de recursos humanos em quantidade e qualidade, a falta e o custo elevado dos materiais, o défice tecnológico e os concursos desajustados da realidade económica do País, entre outras.** De outra forma, as metas do PRR, do Portugal 2030 ou dos programas habitacionais já em curso, dificilmente poderão ser cumpridas, não aproveitando assim Portugal esta grande oportunidade, quiçá a última, para convergir com os países mais desenvolvidos da União Europeia.

Tendo em conta o quadro de referência que norteou a elaboração deste Projeto de Investigação, foi possível constatar que o setor da Construção e da Reabilitação é ainda um setor muito poluente no espaço da União Europeia, responsável por elevadas emissões de dióxido de carbono e pela produção de uma grande quantidade de resíduos de construção e demolição. É, também, responsável pelo consumo de muitos recursos naturais, água e energia, havendo ainda muito a fazer para se promover a Sustentabilidade e a Economia Circular no setor.

A melhoria da **sustentabilidade consegue-se com a poupança na utilização de recursos naturais e energéticos, com a construção de edifícios duráveis, com a utilização de materiais locais, de menor impacto ambiental e com grande potencialidade de reutilização.** Consegue-se, igualmente, com **o desenvolvimento de soluções construtivas que permitam a aplicação prática da economia circular, nomeadamente, da desconstrução e da reutilização e com a diminuição da produção de resíduos de construção e demolição.** No entanto, importa realçar que a melhoria da sustentabilidade não pode comprometer a qualidade e o conforto das construções.

Como é conhecido, a maioria dos resíduos de construção e demolição é reciclável, embora a sua recuperação média na União Europeia seja ligeiramente inferior a 50%. Esta particularidade reclama mais ação, nomeadamente o cumprimento dos princípios relacionados com a cadeia sequencial de intervenção nas operações de demolição seletiva e na gestão de RCD capazes de **alavancar a transição para a economia circular, cuja ordem é a seguinte: Prevenção; Reutilização; Reciclagem; Valorização e Eliminação.**

Neste contexto, a desconstrução é um novo conceito, que tem vindo a ganhar força à medida que a consciencialização ambiental vai crescendo, sendo caracterizada pelo desmantelamento cuidadoso de um edifício ou de uma construção, de modo a promover a reutilização, através da recuperação de materiais e componentes da construção, bem como a reciclagem, atuando sobre uma eficaz separação dos produtos e aos quais deve, preferencialmente, adicionar-lhes valor acrescentado. **A desconstrução encerra em si muitos desafios para o futuro da construção que passam por investir no eco design, na execução de projetos de desconstrução, em projetos de execução que contemplem materiais e tecnologias sustentáveis, na normalização da forma e das dimensões das componentes de construção, na catalogação dos materiais para facilitar o mercado dos materiais reutilizáveis; na criação de mercados de produtos usados, no conhecimento e sensibilização dos principais intervenientes, como os donos de obra, projetistas e empreiteiros, para a desconstrução e na preparação das empresas para legislação cada vez mais restritiva em termos ambientais.**

A Reabilitação é um procedimento, por si só, muito sustentável quando comparado com a construção nova. Com efeito, relativamente a uma construção de raiz é necessária menor extração de matérias-primas, menor produção de materiais de construção e de elementos estruturais e menor necessidade de transporte de materiais. A perturbação causada na envolvente, bem como os riscos envolvidos para pessoas e bens também são mais reduzidos. Poderão ser feitas modificações em partes da estrutura ou removidos revestimentos ou outros componentes, mas sem que haja grandes obras de demolição.

O conceito “4.0” pode ser muito relevante na sustentabilidade da reabilitação do edificado e, atendendo aos objetivos europeus de concluir com êxito a transformação digital da União Europeia até 2030, essa transformação dar-se-á muito em breve. A utilização de tecnologias digitais na indústria da reabilitação que permitem a integração dos projetos das várias especialidades, a sensorização, monitorização e a recolha de uma quantidade grande de dados relativos a parâmetros relevantes para o bom funcionamento das estruturas e dos edifícios permitirão automatizar tarefas, quer a nível da sua construção, quer a nível do seu

funcionamento. Para além disso, o uso de comunicações sem fios permite introduzir muita tecnologia e automação em edifícios a reabilitar de uma forma não intrusiva.

Assim, o avanço da tecnologia associada à Reabilitação 4.0 trará mais qualidade ao produto final, melhoria da produtividade, monitorização contínua do consumo de energia e de parâmetros relevantes para o funcionamento adequado do edificado, ajudando as empresas a agirem de forma sustentável ambiental, social e economicamente.

No que respeita concretamente aos edifícios, eles vão continuar a evoluir para se tornarem “mecanismos ciberneticamente vivos”. Este é o começo da transição para o conceito de “edifícios vivos”, onde a eficiência energética e o conforto interior dos edifícios são muito valorizados, o que torna ainda mais premente a promoção e a defesa da sustentabilidade na Construção e Reabilitação.

A consolidação do conceito de “edifícios vivos” tenderá a aprofundar a analogia com os seres humanos. Assim, tal como o corpo humano que transpira para libertar o excesso de calor, os edifícios podem usar sistemas de telhados evaporativos. Da mesma forma, à medida que os vasos sanguíneos se contraem ou dilatam para preservar ou liberar calor, os edifícios usarão sistemas inteligentes de isolamento, com janelas e sombreamentos inteligentes, que permitam ambientes mais confortáveis.

Os edifícios NZEB irão tornar-se mais comuns com os avanços nas tecnologias renováveis e de armazenamento distribuído, como novas baterias. A breve prazo, os edifícios com excesso de energia poderão comprar e vender essa energia à rede ou a outros edifícios.

Simultaneamente, espera-se que as técnicas de Inteligência Artificial sejam cada vez mais utilizadas nos edifícios do futuro. Desde a automação, aprendizagem e previsão de padrões comportamentais dos ocupantes até ao processamento da *Big data* gerado por edifícios e redes inteligentes, as técnicas de Inteligência Artificial já estão estabelecidas como uma necessidade para a execução autónoma de rotinas em nome dos utilizadores.

O recurso à tecnologia e à inovação, a capacitação dos recursos humanos, a procura de soluções inteligentes e sustentáveis constituem hoje realidades indispensáveis para as empresas, as quais valorizam cada vez mais a economia circular nas suas estratégias de atuação. Uma das vertentes em que se têm feito progressos assinaláveis **prende-se com o desenvolvimento de Materiais de Construção Avançados** (tradicionais e não tradicionais).

Desde logo, importa sublinhar-se que as tecnologias inovadoras da Reabilitação 4.0 permitirão o desenvolvimento e aplicação de materiais novos, mas também dos tradicionais, com novas características e metodologias de colocação.

Assim, os materiais tradicionais utilizados até meados do século XX devem continuar a ser aplicados nas obras de reabilitação dos edifícios mais antigos, dado terem características muito interessantes em termos de sustentabilidade, sendo em muitos casos difíceis de substituir. No entanto, no contexto da reabilitação é muito importante reforçar o emprego de materiais sustentáveis (em termos de energia incorporada, emissão CO<sub>2</sub>, circularidade, entre outros).

Neste sentido, assiste-se ao desenvolvimento de uma panóplia de materiais novos que são utilizados em obras de reabilitação de edifícios mais recentes, sendo de realçar que as atuais exigências de conforto e de qualidade do ar interior implicam que nos processos de reabilitação se utilizem materiais e soluções que possam responder a estas exigências.

A manutenção dos materiais e das soluções construtivas necessita de ser implementada de forma clara, devendo estar explicitamente incluída nos projetos. Esta situação, que traz benefícios expressivos em termos de sustentabilidade e de economia circular, é sem dúvida um dos resultados da Reabilitação 4.0 e da utilização de novas ferramentas como o BIM.

Ao longo de todo o trabalho e particularmente no seu capítulo 4 foram evidenciados os objetivos, os requisitos, as transformações e as mais-valias que supõe para a reabilitação urbana **a aposta em diversas vertentes de cariz tecnológico.**

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 Model (BIM) constituem vetores essenciais para a mudança organizacional e produtiva que o setor tanto necessita e ambiciona.

A **Pré-fabricação e Construção Modular** são soluções utilizadas de forma crescente em praticamente todos os tipos de obras, tanto na construção como na reabilitação de edifícios, e resultam de uma boa articulação entre o projeto, a fábrica e a obra.

A **Impressão 3D e Manufatura Aditiva** permitem fabricar estruturas ou objetos físicos com geometrias complexas através de impressão, camada sobre camada, de modelos ou desenhos

digitais em 3D. São assim reduzidos os recursos humanos e materiais necessários, bem como os prazos de execução e os custos associados.

A **Construção Autônoma** reside na execução de tarefas de maneira automática, através do emprego de técnicas computadorizadas e/ou mecanizadas, dinamizando e otimizando os processos produtivos de muitos trabalhos realizados na reabilitação urbana.

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

O **Big Data e Análise Preditiva** através de algoritmos de inteligência artificial permitem o desenvolvimento de técnicas estatísticas e de otimização avançada de apoio à decisão, muito úteis para a gestão das empresas e para a resolução de problemas de Engenharia Civil.

A **Realidade Aumentada e a Virtualização** permitem visualizar e simular de forma detalhada atividades da construção que decorrem num ambiente real ou fictício, sendo muito eficientes para dar informações ou antever soluções relativas às obras em qualquer local desejado.

A **Fotogrametria Digital e o Varrimento Laser** correspondem a técnicas de levantamento precisas e expeditas das coordenadas e da geometria dos objetos, tendo muitas aplicações no setor da construção e reabilitação, nomeadamente nas medições topográficas, no mapeamento de patologias, na medição de deformações ou na criação de modelos digitais.

O **'Building Information Modeling' (BIM)** permite a partilha da informação e de comunicação entre todos os intervenientes e durante todas as fases do ciclo de vida de uma construção, possibilitando a visualização, análise e manipulação virtual dessa mesma construção. Deste modo, o BIM antecipa, identifica e mitiga problemas de projeto, permitindo encontrar soluções que aumentam a qualidade e trazem valor acrescentado aos empreendimentos.

Em síntese, em termos globais, a implementação destas vertentes tecnologias diminui o custo dos recursos humanos e dos materiais, bem como reduz o impacto ambiental, os riscos para a segurança e saúde e o tempo de execução das obras, aumentando assim o grau de industrialização e de produtividade do setor da construção.

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 adequadas e disponibilizados os meios necessários para a sua crescente utilização no setor.

Como acontece com todas as inovações, existe sempre alguma resistência na sua adoção, até porque estas exigem inicialmente um esforço cognitivo e financeiro significativo. No entanto, esta resistência pode rapidamente ser vencida, dado que os benefícios que resultam da sua implementação são, efetivamente, superiores aos seus custos.

É pois importante compreender esta realidade, dado que a não adoção destas novas tecnologias resultará, irremediavelmente, na perda de competitividade e de oportunidades das empresas na Reabilitação Urbana 4.0.

**Os recursos humanos são, atualmente, um dos maiores problemas do setor da construção, sendo ainda mais grave na área da Reabilitação Urbana.** O futuro da construção e da reabilitação será marcado pelo desenvolvimento tecnológico e pela otimização dos edifícios e infraestruturas, tanto novos como existentes, sendo imprescindível atacar o problema fundamental de falta de mão-de-obra, quer ao nível de profissionais com conhecimento das técnicas tradicionais, quer de profissionais preparados para a Reabilitação 4.0, com uma especialização e qualificação que acompanhe a evolução do setor e que responda assertivamente a todos estes novos desafios.

A Reabilitação 4.0 poderá apresentar-se como uma oportunidade para atrair jovens e mulheres no setor. No entanto, para isso, será importante que todos os intervenientes do setor desenvolvam políticas adequadas, quer ao nível da gestão de recursos humanos pelas próprias empresas, valorizando mais o trabalho (economicamente e ao nível da participação nas decisões apostando em equipas de alta performance com mais participação nas decisões) de modo a favorecer a sua atração, quer das entidades ligadas à formação (ao nível profissional e ao nível da educação superior para os engenheiros), que terão que coordenar os seus esforços para desenvolver uma oferta adequada às necessidades atuais e futuras.

Ao nível das políticas públicas, será importante equacionar **o acionamento dos recentes Acordos ao nível da CPLP e das possibilidades que a legislação oferece para a contratação de recursos humanos, e ao mesmo tempo atraindo aquela que saiu do país durante a crise e que ainda não voltou, através de programas de captação direcionados.**

No campo da **segurança e saúde na construção e reabilitação vem-se assistindo nas últimas décadas a melhorias consideráveis**, fruto de uma maior consciencialização de todos os intervenientes para a relevância desta temática e da aplicação de inovações tecnológicas na prevenção e minoração dos problemas.

O campo da segurança e saúde está crescentemente interligado com o desenvolvimento tecnológico, pelo que são necessários recursos humanos cada vez mais especializados e qualificados, já que uma grande parte dos trabalhos exige conhecimentos e competências sobre o espaço digital. Só com trabalhadores com formação profissional apropriada é possível aproveitar positivamente a evolução tecnológica para a mitigação dos riscos correlacionados com a segurança e saúde no trabalho.

A evolução tecnológica está a produzir impactos muito positivos na segurança e saúde, permitindo potenciar os princípios preventivos tanto em termos individuais como coletivos e, desta forma, reduzir o risco de acidentes. Equipamentos como os sistemas de cofragem, plataformas de trabalho, andaimes, entivação de valas, plataformas elevatórias, escoramentos estruturais são presentemente muito mais seguros para os trabalhadores devido às melhorias que lhes foram introduzidas.

É de todo conveniente que as medidas preventivas de segurança e saúde estejam crescentemente alicerçadas nos novos equipamentos com tecnologias de ponta, como os Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), os Robôs, o BIM, a Internet das Coisas, o GPS, a Tecnologia Vestível, entre outros. Durante este trabalho foram dados muitos exemplos dos muitos benefícios que trazem equipamentos como os drones, o vestuário com sensores ou os capacetes com câmaras para a Reabilitação 4.0.

Neste novo contexto, a informação e a comunicação ganham uma relevância decisiva na segurança e saúde. Com efeito, a disponibilização de informação e a facilidade de comunicação em tempo real são fundamentais para a tomada de decisão e para a gestão mais eficaz dos processos construtivos com o objetivo de se evitarem os acidentes. Em particular, a chegada da Internet das Coisas (IoT) e do Big Data veio aumentar significativamente a quantidade e qualidade da informação acessível ao longo de todo o processo de realização de uma obra de Construção/Reabilitação.

Importa salientar que na Reabilitação 4.0, a informação e a formação são cada vez mais importantes, porque a evolução da tecnologia é grande e apenas trabalhadores especializados conseguem operar com eficiência e segurança os novos equipamentos.

A Reabilitação 4.0 requer empresas que fomentem as condições de aprendizagem e trabalhadores motivados para adquirir os conhecimentos e as competências necessárias para operar os novos equipamentos e instrumentos tecnológicos, cada vez mais seguros se os souberem utilizar adequadamente.

Existem, felizmente, já muitas empresas nas quais a Reabilitação 4.0 é uma realidade visível nas suas atividades. Com efeito, a cada dia que passa é maior o uso de instrumentos tecnológicos em tarefas como os cálculos estruturais, a georreferenciação, a gestão integrada de projetos, a instalação de estaleiros de obras, ou a pré-fabricação de módulos para edifícios.

Existem também algumas empresas, embora em menor número, que apostam em iniciativas mais arrojadas, como sejam o recurso a drones para o acompanhamento das obras, a impressão em 3D de componentes construtivas ou a utilização de equipamentos robotizados para a execução de tarefas, sobretudo em estaleiro. Contudo, são ainda iniciativas algo tímidas, que necessitam de tempo e carecem de maior incentivo e apoio na sua divulgação e aplicação no setor da construção em Portugal, em particular entre as empresas de reduzida dimensão e menor capacidade financeira.

A elaboração deste Projeto de Investigação expôs que na “era da informação e do digital” a reorientação estratégica das empresas ao nível dos materiais, das tecnologias, dos recursos humanos e da segurança e saúde é crucial para o bom desempenho das empresas que atuam no mercado de Reabilitação Urbana 4.0 de forma inteligente e sustentável, bem como é fundamental para promover o desenvolvimento mais coeso e sustentável do País.

No Programa do XXIII Governo Constitucional, recentemente apresentado, estão delineados um conjunto de desafios estratégicos para o País, sendo de sublinhar que o 4.º Desafio Estratégico está direcionado para a Sociedade Digital, a Criatividade e a Inovação, referindo concretamente que é preciso

*“incentivar a adoção, por parte das empresas e da economia, de ferramentas e instrumentos mais modernos, promovendo e apoiando a criação de mais e melhor emprego. Precisamos adicionalmente de criar um quadro favorável para que as empresas disponham dos recursos para assegurar os investimentos necessários à adoção de novos modelos de produção, que incorporem as tecnologias associadas à digitalização e à automação”.*

e de seguida o Programa do Governo destaca que

*“é preciso uma fiscalidade que favoreça o investimento e a capitalização das empresas, instituições financeiras públicas que compensem as falhas de mercado no financiamento da transição para a economia digital e a articulação entre instituições públicas e o setor empresarial que facilite a concretização dos objetivos estratégicos que nos propomos. Por outro lado, só será possível atingir estes objetivos se continuarmos a investir nas pessoas e nas suas qualificações, quer no sistema educativo, quer ao longo da vida, através de um investimento transversal em mais competências digitais. O modelo de desenvolvimento que ambicionamos, baseado no conhecimento e no valor acrescentado das atividades económicas, requer recursos humanos cada vez mais qualificados.”.*

Ora, este diagnóstico e os desafios estratégicos propostos no Programa de Governo estão em plena sintonia com as conclusões que emergiram claramente na elaboração deste Projeto de Investigação. Com efeito, a aposta no desenvolvimento de tecnologias associadas à digitalização e à automação, o apoio financeiro da transição para a economia digital e a formação de recursos humanos com capacidade e competências, constituem vetores fundamentais para promover com êxito a Reabilitação 4.0. Assim, era muito importante que o Governo lançasse um Programa Nacional de Incentivo e Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico das Empresas de Construção e Reabilitação, recorrendo por exemplo ao PRR, que promovesse e consolidasse a Reabilitação 4.0 no País. Neste sentido, importa salientar que no PRR estão previstas duas componentes, **a componente C6 - Qualificações e Competências, possuindo 1 324 milhões de €, e a componente C16 - Empresas 4.0, possuindo 650 milhões de €, cujos valores podem e devem ser aproveitados pelas empresas de Construção e de Reabilitação 4.0 para se qualificarem e modernizarem em termos dos seus recursos humanos e tecnológicos.**

Realce-se, também, que os vetores referidos têm sido também identificados como essenciais pela AICCOPN para a modernização da construção e reabilitação, a qual tem vindo a pugnar ao longo dos anos pela sua implementação junto de todos os intervenientes do setor, em especial, do Governo.

É agora preciso passar das palavras aos atos. O Governo deve definir concretamente as medidas e pô-las em prática para que a Reabilitação 4.0 seja, de facto, uma realidade em Portugal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACT (Autoridade para as Condições do Trabalho). Amianto. [https://www.act.gov.pt/\(PT-PT\)/CENTROINFORMACAO/DOSSIERSTEMATICOS/Paginas/default.aspx](https://www.act.gov.pt/(PT-PT)/CENTROINFORMACAO/DOSSIERSTEMATICOS/Paginas/default.aspx). (acedido em 5 de abril de 2022).

Adepoju, O. (2021). Reskilling for Construction 4.0. 1. Chapter, First Online: 14 October 2021.

AEP. (2021). Análise das tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 para potenciar a Economia Circular, a Descarbonização e a Transição Energética nas empresas. EcoEconomy 4.0. E-Book.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). Resíduos de Construção e Demolição- Resultados 2018 e Evolução 2016-2018. <https://apambiente.pt/residuos/residuos-de-construcao-e-demolicao>.

Ahmadi, S. et al. (2021). “Mosteiro de Rendufe”. Advanced Masters in Structural Analysis of Historical Constructions – SAHC. University of Minho.

Araújo, J. (2002). Universidade de Évora no ano letivo 2002/2003. <<http://materiais.dbio.uevora.pt/jaraujo/biocel/metecnicas.htm>>. [Consultado em outubro de 2014).

Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (2021). Inquérito à situação do setor. 1.º Trimestre de 2021.

Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (2021). Inquérito à situação do setor. 2.º Trimestre de 2021.

Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (2021). Inquérito à situação do setor. 3.º Trimestre de 2021.

Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (2021). Inquérito à situação do setor. 4.º Trimestre de 2021.

Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (2022). Inquérito à situação do setor. 1.º Trimestre de 2022.

Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (2021). Conjuntura da Construção – Informação Rápida – novembro de 2021.

AUTODESK. (2019). Robotics in Construction. <https://bim360resources.autodesk.com/ebooks/robotics-in-construction-pdf>.

Azenha, M. (2019). “‘Building Information Modeling’: o novo modelo que está a revolucionar o setor da construção,” Ponto de Vista. <https://web.archive.org/web/20210802195457/https://pontosdevista.pt/2019/07/28/building-information-Modeling-novo-modelo-esta-revolucionar-setor-da-construcao/>. (acedido em Janeiro, 2021).

Azhar, S. et al. (2012). “Building information modeling (BIM): Now and beyond,” Australas. J. Constr. Econ. Build., vol. 12, nº. 4, pp. 15-28, doi: 10.5130/ajceb.v12i4.3032.

BCSD (Conselho Empresarial para o desenvolvimento sustentável). (2022). <https://www.ods.pt/>. (acedido em fevereiro de 2022).

Bigler, T. et al. (2011). “SmartFridge: Demand side management for the device level,” IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. ETFA. doi: 10.1109/ETFA.2011.6059105.

Borges, L. O. e Peixoto, T. P. (2011). Ser operário da construção civil é viver a discriminação social. *Revista Psicologia Organizações e Trabalho*, 11(1), 21-36.

Branco-Teixeira, M. (Coord.), Almeida, C., Coimbra, J., Ramos, L. e Rocha, C. (2020). *Diagnóstico do Posicionamento Estratégico das Empresas no Mercado da Reabilitação Urbana Inteligente e Sustentável*. Porto. Universidade Fernando Pessoa (Ed). ISBN: 978-989-643-159-4.

Briga-Sá, A. et al. (2021). Thermal Performance of Compressed Blocks made from Construction and Polyurethane Foam Waste. In: M.C.F. Cunha V., Rezazadeh M., Gowda C. (eds) *Proceedings of the 3rd RILEM Spring Convention and Conference (RSCC 2020)*. RSCC 2020. RILEM Bookseries, vol 35. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76543-9\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76543-9_21).

Brundtland, Gro Harlem (dir.). (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford. Oxford University Press.

Cavalcanti, V. et al. (2018). Indústria 4.0: Desafios e Perspectivas na Construção Civil, *Revista Campo do Saber*. Vol. 4. Nº 4.

CNQ – Catálogo Nacional de Qualificações. Disponível em: <https://catalogo.anqep.gov.pt/>. [Consultado em 14 de março de 2022].

COM/2014/0445. (2014). Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões oportunidades para ganhos de eficiência na utilização dos recursos no setor da construção.

Costa, A. et al. (2017) “Guia de Contratação BIM.” Instituto Superior Técnico.

Costa, A. et al. (2020). “BIM nas Autarquias.” Instituto Superior Técnico.

Costa, J. (2008). *A Evolução da Arquitectura Bioclimática – Contributo para a Sustentabilidade Arquitectónica e Urbana*. Tese de Doutoramento. Universidade Portucalense.

Couto, A. et al. (2006). *Desconstrução: Uma ferramenta para a sustentabilidade da construção*. Seminário NUTAU - Inovações Tecnológicas e Sustentabilidade.

CPLP. (2021). Resolução sobre o Acordo sobre a Mobilidade entre os Estados-Membros da CPLP. XIII Conferência de Chefes de Estado e de Governo da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa. XXVI Reunião Ordinária do Conselho de Ministros da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa.

Cruz, F. (2017). “Application of Photogrammetry to Engineering”, Doctoral Programme in Civil Engineering – Experimental Analysis. University of Minho.

Cruz, T. (2018). “Virtual reality in the architecture, engineering and construction industry proposal of an interactive collaboration application”. Universidade do Porto.

Cupelli, D. et al. (2009). “Self-adjusting smart windows based on polymer-dispersed liquid crystals,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 93, no. 11, pp. 2008-2012. doi: 10.1016/J.SOLMAT.2009.08.002.

Darós, J. (2019). “União do BIM 3D, 4D e 5D na prática”. <https://web.archive.org/web/20220126161658/https://utilizandobim.com/blog/uniao-bim-3d-4d-5d/>. (acedido em Janeiro, 2022).

Decreto-Lei n.º 273/2003, de 29 de outubro de 2003, que entrou em vigor a 29 de dezembro de 2003 e que procede à revisão da regulamentação das condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis.

Decreto-Lei nº 266/2007, 24 de julho de 2007. Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2003/18/CE (EUR-Lex), do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de março,

relativa à proteção sanitária dos trabalhadores contra os riscos de exposição ao amianto durante o trabalho.

Delgado Camacho, D., Clayton, P., O'Brien, W. J., Seepersad, C., Juenger, M., Ferron, R., & Salamone, S. (2018). Applications of additive manufacturing in the construction industry – A forward-looking review. *Automation in Construction*. Volume 89. pp. 110-119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.031>.

European Committee for Standardization. (2020). “EN 17412-1. Building Information Modeling. Level of Information Need. Concepts and principles”.

European Construction Industry Federation (2017). Digitalization, Construction 4.0 and BIM. FIEC Manifesto on BIM, May 2017. Disponível em: <https://www.fiec.eu/priorities/digitalisation-construction-40-and-bim>. [Consultado em 20 de abril de 2022].

European Council. (2021). Recovery and Resilience Plans. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-recovery-plan/> [Consultado em 22 de abril de 2022].

Faria, Catarina (2016). Avaliação do teor e tipo de partículas e nanopartículas existentes em obras de reabilitação urbana. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UTAD.

Fernandes, C. R. (2020). Madeira e seus derivados na construção – Caso de estudo de proposta de um material alternativo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Francis, R. A. e Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*, 92:6, 1429-1437.

Freitas, Vasco Peixoto de (coord.)(2012). Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos. Ordem dos Engenheiros. Lisboa.

Gabinete de Estratégia e Planeamento. (2021). Estatísticas de Salários por Profissão na Construção. Disponível em: <http://www.gep.mtsss.gov.pt/documents/10182/30963/ispc072021sint.pdf/db3d3788-26e0-472d-996c-439858b592e6>. [Consultado em 3 de fevereiro de 2022].

GECoRPA – Grémio do Património. Disponível em: [www.gecorpa.pt](http://www.gecorpa.pt). [Consultado em 22 de novembro de 2021].

Gabinete de Estratégia e Planeamento (2022). Boletim Estatístico. Disponível em: <http://www.gep.mtsss.gov.pt/documents/10182/10925/bejan2022.pdf/7555b984-b194-42e6-9c1e-4a049552d35b>. [Consultado em 3 de fevereiro de 2022].

García de Soto, B., Agustí-Juan, I., Hunhevicz, J., Joss, S., Graser, K., Habert, G., & Adey, B. T. (2018). Productivity of digital fabrication in construction: Cost and time analysis of a robotically built wall. *Automation in Construction*. Volume 92. pp. 297-311. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.004>.

Gerbert, P., Castagnino, S., Rothballer, C., Renz, A., & Filitz, R. (2016). Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling. The Boston Consulting Group Digital in Engineering and Construction.

Graf EcoBloc Inspect flex - fast and cost efficient. <https://www.graf-water.com/stormwater-management/all-about-stormwater-management/graf-infiltration-modules-cost-effective-and-space-saving.html>. (acedido em fevereiro de 2022).

Hamil, S. (2021). “BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained”. <https://web.archive.org/web/20220126142811/https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>. (acedido em Janeiro, 2022).

Hamil, S. (2021). "What is Building Information Modeling (BIM)?". <https://web.archive.org/web/20211010053721/https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-Modeling-bim>. (acedido em Janeiro, 2022).

Hammad, K. et al. (2015). Big data analysis and storage. In International Conference on Operations Excellence and Service Engineering.

Instituto Nacional de Estatística (2021). Dados sobre empresas de construção que faliram e se constituíram entre 2008 e 2021.

IEFP (2021). Projeto Mulheres em Construção. Disponível em: <https://www.iefp.pt/noticia?item=11188167>. [Consultado em 2 de fevereiro de 2022].

IEFP (2021). Mercado de Emprego: Estatísticas Mensais. Disponível em: <https://www.iefp.pt/documents/10181/11324955/Estat%C3%ADstica+Mensal+Mercado+Emprego+fevereiro+2022.pdf/d5e3c4df-e87c-4574-b96a-3f83ff60d67e>. [Consultado em 21 de abril de 2021].

Inácio, A. M. (2019). "As mulheres estão a meter as mãos nas obras". Diário de Notícias de 24 de março. Disponível em: <https://www.dn.pt/edicao-do-dia/24-mar-2019/as-mulheres-estao-a-meter-a-mao-nas-obras-10717715.html>. [Consultado em 2 de fevereiro de 2022].

International Green Roofs Association (IGRA). (2008). Types of Green Roofs. Disponível em <http://www.igra-world.com/greenroof-types/index.html>. (acedido em abril de 2022).

International Labour Organization (2020). Guidelines on Rapid Assessment of reskilling and upskilling needs in response to the COVID-19 crisis, Skills and Employability Branch. Employment Policy Department.

International Organization for Standardization [ISO]. (2018). "ISO 16739-1. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema".

International Organization for Standardization [ISO]. (2018). "ISO 19650-1. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information Modeling (BIM) — Information management using building information Modeling — Part 1: Concepts and principles".

International Organization for Standardization [ISO]. (2018). "ISO 19650-2. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information Modeling (BIM) — Information management using building information Modeling — Part 2: Delivery phase of the assets".

International Organization for Standardization [ISO]. (2020). "ISO 19650-3. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information Modeling (BIM) — Information management using building information Modeling — Part 3: Operational phase of the assets".

International Organization for Standardization [ISO]. (2020). "ISO 19650-5. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information Modeling (BIM) — Information management using building information Modeling — Part 5: Security-minded approach to info".

Junior, F. (2021). "Bim 5D: uma nova forma de realizar o orçamento da sua obra," Mais Engenharia. <https://web.archive.org/web/20220126163017/https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/bim-5d/>. (acedido em Janeiro, 2022).

Karmakar, A. e Delhi, V. S. K. (2021). Construction 4.0: what we know and where we are headed?. Journal of Information Technology in Construction. Vol.26, pp. 526 a 545.

Kumar, S. (2020). Water technologies for green building. Constrofacilitator. <https://www.constrofacilitator.com/water-technologies-for-green-building/>. (acedido em fevereiro de 2022).

Lei n.º 20/98, de 12 de maio. Estabelece a regulamentação do trabalho de estrangeiros em território português.

Lei nº 101/2005 de 23 de junho de 2005. Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 1999/77/CE (EUR-Lex), da Comissão, de 26 de julho, relativa à limitação da colocação no mercado e da utilização de algumas substâncias e preparações perigosas, alterando o Decreto-Lei n.º 264/98, de 19 de agosto.

Macieira, M. et al. (2020). Roof Replacement of a Heritage Building Using Transparent Solutions: Room Acoustic Performance Comparison. *International Journal of Architectural Heritage*. DOI:10.1080/15583058.2020.1777593.

Macieira, M., Mendonça, P., Guedes, J. (2019). Membrane Sunspace for Old Buildings Refurbishment: Environmental Impact, Economic and Building Technology's Comparison to Conventional Solutions. *MATEC Web Conf. Volume 278. 2nd International Conference on Building Materials and Materials Engineering (ICBMM 2018)*. Lisbon, Portugal.

Magalhães, L. (2017). Estudo do potencial de aplicação de resíduos têxteis em elementos de betão leve. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Marafini, F. et al. (2020). "Mosteiro de S. Miguel de Bustelo". *Advanced Masters in Structural Analysis of Historical Constructions – SAHC*. University of Minho.

Mecatrónica Fácil (2006). Microscópio eletrônico de varredura como ferramenta para micro e nanotecnologia, 31. <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1632-microscpio-eletrnico-de-varredura-como-ferramenta-para-micro-e-nanotecnologia>. (acedido em novembro de 2014).

Mota, A., Briga-Sá, A., Valente, A. (2021). Development of a Wireless System to Control a Trombe Wall for Poultry Brooding, *AgriEngineering*. 3(4). pp. 853-867.

Moutinho, Christian (2016). Reabilitação de edifícios onde existe amianto. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UTAD.

Nações Unidas. (2022). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Centro Regional de informação para a Europa Ocidental <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>. (acedido em fevereiro de 2022).

NP 1796/2014. Estabelece os valores-limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos.

Oficina da água. Guia técnico de aproveitamento de águas pluviais em edifícios. <https://oficinadaagua.pt/ficheiros/editor/Guia%20T%C3%A9cnico%20Aproveitamento%20C3%81guas%20Pluviais.pdf> (acedido em fevereiro de 2022).

Oliveira, Carlos (2014). Avaliação de risco de possíveis acidentes em obra para identificação de estratégias de medidas preventivas para a segurança na construção. Tese de Doutoramento. FEUP.

OPCM 3274. (2005). Primi elementi in materiali di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sísmica, come modificato dall'OPCM 3431 del 3/5/05.

Papadopoulou, T. (2020). Developing construction graduates fit for the 4th industrial revolution through fieldwork application of active learning. *Higher Education Pedagogies*, 5:1, 182-199, DOI: 10.1080/23752696.2020.1816844.

Parente, M. et al. (2015). An evolutionary multi-objective optimization system for earthworks. *Expert Systems with Applications*. 42(19). pp. 6674-6685.

Parente, M. et al. (2015). Combining data mining and evolutionary computation for multi-criteria optimization of earthworks. In *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*. pp. 514-528. Springer, Cham.

Perini, K. et al. (2011). Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology* Vol.1, No.1, 1-8.

Pinto, A. (2008). *Manual de Segurança*. 3ª Edição. Lisboa. Edições Sílabo.

Pinto, I. (2019). Construção. Faltam 70 mil operários e só há 2800 em formação. *Diário de Notícias*. Disponível em: <https://www.dn.pt/edicao-do-dia/22-jul-2019/construcao-faltam-70-mil-operarios-e-so-ha-2800-em-formacao-11136170.html>. [Consultado em 3 de dezembro de 2021].

Pinto, J. (2016). Possible Applications of Corncob as a Raw Insulation Material. *Insulation Materials in Context of Sustainability*. InTech-Science, Chapter 2, Edited by Amjad Almusaed, ISBN: 978-953-51-2625-6, DOI: 10.5772/61361.

PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo. Pessoal ao serviço nas empresas: total e por sector de atividade económica. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal>. [Consultado a 3 de fevereiro de 2022].

PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo. Gastos com pessoal por trabalhador: total e por sector de atividade económica. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal>. [Consultado em 3 de fevereiro de 2022].

PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo. Produtividade aparente do trabalhador: total e por sector de atividade económica. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal>. [Consultado em 3 de fevereiro de 2022].

Ramos, L. et al. (2017). HeritageCARE: Preventive conservation of built cultural heritage in the south-west Europe. *Innovative Built Heritage Models - Edited contributions to the International Conference on Innovative Built Heritage Models and Preventive Systems*. pp. 135-142.

Rand, A., Bragança, L. (2019). Economia Circular no Setor da Construção: Os Edifícios como Banco de Materiais. *Revista Edifícios e Energia*.

Raposo, F. (2013). *Manual de Boas Práticas de Coberturas Verdes*. Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação. Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Regulamento (CE) n.º 1272/2008, que apresenta a classificação, rotulagem e embalagem (CRE) e harmoniza a anterior legislação da UE com o GHS (Sistema Mundial Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos).

Reis Campos (2019). Falta de mão-de-obra na construção: que soluções?. Artigo de 19-06-2019 publicado no *Jornal Público*. Disponível em: [https://www.aiccopn.pt/archive/docPI\\_19junho2019.pdf](https://www.aiccopn.pt/archive/docPI_19junho2019.pdf). [Consultado a 3 de dezembro de 2022].

Reis Campos (2021). Fatores externos à construção não podem condicionar a execução do Investimento. Artigo de 01-12-2021 publicado pelo jornal “O Público”. Disponível em: <https://www.aiccopn.pt/fatores-externos-a-construcao-nao-podem-condicionar-execucao-do-investimento/> [Consultado a 3 de dezembro de 2021].

Reis, Cristina (2008). Melhoria da Eficácia dos planos de segurança na redução dos acidentes na construção. Tese de doutoramento Apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. FEUP.

Rego, A., e Cunha, M. P. (2015) Liderança e Motivação: Explorando caminhos no contexto português. D&F: Dirigir e Formar, Nº 11, 3-11. Reis, Cristina (2008) - Melhoria da Eficácia dos planos de segurança na redução dos acidentes na construção. Tese de doutoramento. FEUP.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021. Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios - ELPRE. Diário da República, 1.ª série. Disponível em: <https://files.dre.pt/1s/2021/02/02301/0000200105.pdf>. [Consultado em 04 de fevereiro de 2022].

Rutkowska, M. e Sulich, A. (2020). Green Jobs on the background of Industry 4.0. *Procedia Computer Science*. Volume 176. pp 1231-1240, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.132>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920320329>).

Sá, A. (2019). “Contribuição da parede de Trombe para a melhoria da eficiência energética dos edifícios”. *Revista Renováveis Magazine*. n.º 39.

Sá, A. et al. (2021). Influence of Air Vents Management on Trombe Wall Temperature Fluctuations: An Experimental Analysis under Real Climate Conditions, *Energies*. 4(16), 5043.

Santos, F. A. (2021). Faltam engenheiros para executar milhões do PRR (e a solução pode estar na imigração). Entrevista no programa da TSF “A vida do dinheiro”. Disponível em: <https://www.tsf.pt/portugal/economia/faltam-engenheiros-para-o-prr-denuncia-fernando-almeidasantos14420806.html#:~:text=Faltam%20engenheiros%20para%20o%20PRR%2C%20denuncia%20Fernando%20Almeida%20Santos,por%20Jos%C3%A9%20Milheiro&text=Fernando%20Almeida%20>.

Schwab, Klaus (2016). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>. (acedido em 21-7-2021).

Silva, A.; Simão, A.; Menezes, C. (2018). Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil Brasileira.

Silva R. (2021). “Ambiente virtual com cenários potencialmente perigosos para trabalhos de demolição”. Universidade do Porto, 2021.

Solar House. <http://altbuildblog.blogspot.com/2010/05/solar-house.html>. (acedido em março de 2022).

Trimble (2002). “Trimble. Field Technology”. <https://fieldtech.trimble.com/en/products/mixed-reality>.

Tinoco, J. et al. (2018). Stability condition identification of rock and soil cutting slopes based on soft computing. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(2), 04017088.

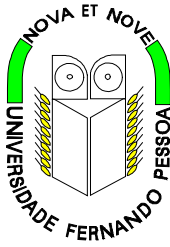
Tinoco, J. et al. (2018). Data-driven model for stability condition prediction of soil embankments based on visual data features. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(4), 04018027.

UNIDO (2017). Industry 4.0 Opportunities behind the challenges (background paper). United Nations Industrial Development Organization.

United BIM. (2022). “What are BIM Dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D, and 7D BIM Explained | Definition & Benefits”. <https://web.archive.org/web/20220126155832/https://www.united-bim.com/what-are-bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained-definition-benefits/>. (acedido em Janeiro, 2022).

Vijayaraghavan, K. (2016). Green Roofs: A Critical Review on the Role of Components, Benefits, Limitations and Trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Nº 57. pp. 740-752.

World Economic Forum (2016). Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology. <https://ourworldindata.org/technological-progress>. (acedido em Março, 2022).



**AICCOPN**

Associação dos Industriais da Construção  
Civil e Obras Públicas

## **MANUAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE**

**Os Desafios e as Soluções na Reabilitação Urbana 4.0 -**

**Materiais, Tecnologias, Recursos Humanos e Segurança**

### **SEPARATA**

FICHAS TÉCNICAS COM ORIENTAÇÕES ÚTEIS PARA AS EMPRESAS

SUMÁRIOS EXECUTIVOS DOS CAPÍTULOS



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

## **FICHAS TÉCNICAS COM ORIENTAÇÕES ÚTEIS PARA AS EMPRESAS**

## **Orientações Úteis para as Empresas - A Revolução Industrial 4.0 e o seu Impacto nas Atividades da Construção e Reabilitação**

### **Situação Atual**

A introdução de diferentes tecnologias inovadoras na forma de projetar, construir e gerir as obras fez emergir a Construção e a Reabilitação 4.0, como o caminho natural para aumentar a competitividade e a produtividade do setor, reduzindo a sua ineficiência e os seus custos.

A cada dia que passa é maior o uso de ferramentas tecnológicas em tarefas como os cálculos estruturais, a georreferenciação, a gestão integrada de projetos, a instalação de estaleiros de obras, ou a pré-fabricação de módulos para edifícios.

Existem já algumas empresas que apostam em iniciativas mais arrojadas, como sejam o recurso a drones, a impressão em 3D de componentes construtivas ou a utilização de equipamentos robotizados para a execução de tarefas, sobretudo em estaleiro.

No entanto, são ainda iniciativas algo tímidas, que necessitam de tempo e carecem de maior incentivo e apoio para consolidar a sua utilização no setor da construção em Portugal, em particular no que respeita às empresas de reduzida dimensão e menor capacidade técnica e financeira.

### **Oportunidades e Desafios para o Futuro**

Até ao final desta década, poderá ser colocado à disposição do País um montante superior a € 61 mil milhões de apoio financeiro vindo da Europa para resolver os problemas estruturais seculares que assolam o território nacional, sendo que uma parte substancial desse valor será canalizado direta ou indiretamente para o setor da Construção e Reabilitação.

As empresas terão de estar preparadas em termos dos seus recursos humanos, materiais e tecnológicos para responder ao grande volume de obras que, previsivelmente, irá ser realizado nos próximos anos.

É, assim, essencial reforçar a aposta na inovação tecnológica, na capacitação dos recursos humanos e na procura de soluções inteligentes e sustentáveis nas empresas da Construção e Reabilitação portuguesas, enquanto fatores decisivos para aumentar os níveis de competitividade e de produtividade do País, e para criar condições de enfrentar com sucesso os desafios que o futuro coloca.

Em resultado da crescente preocupação com a sustentabilidade, a eficiência energética e inovação tecnológica, a União Europeia e o País têm disponibilizado para esse fim apoios financeiros crescentes nos seus principais programas (PRR e Portugal 2030), os quais constituem oportunidades que as empresas da Reabilitação 4.0 têm de saber aproveitar.

### **Organismos Intervenientes**

<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
World Economic Forum, Boston Consulting Group.	<a href="https://www.weforum.org/organizations/the-boston-consulting-group">https://www.weforum.org/organizations/the-boston-consulting-group</a>
XXII GOVERNO – Ministério do Planeamento, Plano de Recuperação e Resiliência.	<a href="https://recuperarportugal.gov.pt/">https://recuperarportugal.gov.pt/</a>
IHRU - Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana.	R. de Dom Manuel II, n.º 296 6.º, 4050-344 Porto. Tel. 22 607 9670. <a href="http://www.ihru.pt/">http://www.ihru.pt/</a>

### **Legislação e Regulamentação Aplicável**

Plano de Recuperação e Resiliência – Recuperar Portugal, Construindo o Futuro. 22 de abril de 2021.

Decreto-Lei n.º 37/2018, de 4 de maio - Estabelece o 1.º Direito - Programa de Apoio ao Acesso à Habitação.

N.º 01/CO2-i01/2021 - Investimento RE-C02-i01 - Programa de Apoio ao Acesso à Habitação.

<b>Quem pode ajudar / Onde obter informação</b>	
<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
AICCOPN - Ass. dos Industriais da C.C. e Obras Públicas	R. de Álvares Cabral 306, 4050-040 Porto, Tel. 22 340 2200
ANI – Agência Nacional de Inovação	<a href="https://www.ani.pt/">https://www.ani.pt/</a>
Portal da Habitação	<a href="https://www.portaldahabitacao.pt/web/guest/prr">https://www.portaldahabitacao.pt/web/guest/prr</a>

## **Orientações Úteis para as Empresas - Sustentabilidade e Economia Circular**

### **Situação Atual**

A sustentabilidade ambiental do setor da construção civil tem vindo progressivamente a melhorar com a introdução de boas práticas construtivas, em particular com a reciclagem e valorização de resíduos de construção e demolição (RCD) e com o cumprimento de algumas imposições legais. No entanto, existe ainda muito a fazer para se atingirem os objetivos da economia circular. As empresas têm vindo a preparar-se para uma legislação cada vez mais restritiva em termos ambientais e para custos crescentemente elevados associados a práticas não sustentáveis, nomeadamente na deposição dos RCD. Este esforço de preparação e modernização é vital para o aumento da competitividade das empresas.

### **Oportunidades e Desafios para o Futuro**

A crescente relevância da sustentabilidade e da economia circular na Reabilitação 4.0 irá possibilitar:

1. Minimização da extração e consumo de recursos naturais e maximização da reutilização e reciclagem de RCD.

Este importante desafio pode potenciar algumas oportunidades para empresas, nomeadamente:

- 1.1. Criação de empresas e negócios especializados em materiais para reutilizar e reciclar;
  - 1.2. Desenvolvimento de novos materiais mais sustentáveis e menos poluentes, designadamente a partir dos RCD;
  - 1.3. Criação de parcerias entre empresas e unidades de investigação (universidades, laboratórios e centros de investigação) para realização de estudos que potenciem a aplicação dos RCD;
  - 1.4. Criação e organização de novos mercados de produtos usados;
  - 1.5. Reutilização de resíduos, transformando-os em novas matérias-primas e criando-lhes valor acrescentado;
  - 1.6. Privilegiar a reabilitação em detrimento da construção nova ou da demolição;
  - 1.7. Implementação de estudos de análise de ciclo de vida de matérias, produtos e processos construtivos para selecionar as soluções mais sustentáveis;
  - 1.8. Utilização de práticas de sustentabilidade para redução das emissões de carbono, tirando vantagens económicas da comercialização destas quotas no mercado de carbono.
2. Consideração da desconstrução como um requisito do projeto de obra.  
Este desafio também pode potenciar algumas oportunidades para as empresas, nomeadamente:
    - 2.1. Criação de empresas e formação de técnicos habilitados para a execução de projetos de desconstrução;
    - 2.2. Criação de novos cursos e formações como Eco-Design, BIM, Impressão 3D, entre outros;
    - 2.3. Normalização das formas e das dimensões dos componentes da construção;
    - 2.4. Organização de mercados de materiais e componentes da construção usados com respetiva catalogação.
  3. Implementação de estratégias da Construção 4.0 na reabilitação sustentável.  
Algumas oportunidades para as empresas também estão subjacentes a este desafio tais como:
    - 3.1. Transformação dos edifícios existentes em edifícios inteligentes, no sentido de os tornar igualmente mais eficientes energeticamente;
    - 3.2. Utilização e desenvolvimento de novas tecnologias menos intrusivas;
    - 3.3. Criação de ambientes de trabalho mais seguros e fisicamente menos exigentes.

### **Organismos Intervenientes**

<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
APA - Agência Portuguesa de Ambiente	<a href="https://apambiente.pt/">https://apambiente.pt/</a>
ERSAR - Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos	<a href="https://www.ersar.pt/pt">https://www.ersar.pt/pt</a>
IGAMAOT - Inspeção-Geral da Agricultura, do Mar, do Amb. e do Ord do Território	<a href="https://www.igamaot.gov.pt/">https://www.igamaot.gov.pt/</a>

### Legislação e Regulamentação Aplicável

Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro - Estabelece o regime geral da gestão de resíduos e o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, alterando o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos.

Decreto-Lei n.º 46/2008, de 11 de março - Estabelece o regime das operações de gestão de RCD, com alteração pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho.

Decreto-Lei n.º 210/2009, de 3 de setembro - Estabelece o regime de constituição, gestão e funcionamento do mercado organizado de resíduos.

### Quem pode ajudar / Onde obter informação

Entidade	Contacto
AICCOPN - Ass. dos Industriais da C.C. e Obras Públicas	R. de Álvares Cabral 306, 4050-040 Porto, Tel. 22 340 2200
APOGER - Associação Portuguesa dos Operadores de Gestão de Resíduos e Recicladores	<a href="https://apoger.com/apoger/">https://apoger.com/apoger/</a>
Sociedade Ponto Verde	<a href="https://www.pontoverde.pt/">https://www.pontoverde.pt/</a>
AEPSA - Associação das Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente	<a href="http://aepsa.pt/">http://aepsa.pt/</a>
UTAD - Laboratórios de Engenharia Civil	<a href="https://www.utad.pt/">https://www.utad.pt/</a>
Centro de Competências em Inovação de Produtos e Serviços	<a href="https://sigarra.up.pt/feup/pt/uni_geral.unidade_view?pv_unidade=712">https://sigarra.up.pt/feup/pt/uni_geral.unidade_view?pv_unidade=712</a>

## Orientações Úteis para as Empresas - Eficiência Energética e Conforto Interior dos Edifícios

### Situação Atual

A maioria dos fogos portugueses inseridos em edifícios antigos pré-1990, data da 1.ª legislação sobre características de comportamento térmico de edifícios, são frios no inverno e quentes no verão, logo ambientalmente desconfortáveis e maus para a saúde dos residentes. Tal conduz a que no inverno a conta da eletricidade suba devido às necessidades de aquecimento e, no verão, também suba devido à utilização do ar condicionado (quando existe). Sem uma forte intervenção das entidades responsáveis, esta situação só tenderá a piorar, devido à escassez energética e ao agravamento das alterações climáticas, conforme reconhece a Organização das Nações Unidas.

### Oportunidades e Desafios para o Futuro

Tornar os edifícios mais eficientes significa reduzir fortemente o consumo da energia para aquecimento, arrefecimento, produção de água quente sanitária e iluminação, com todas as consequências positivas, tanto para os gastos individuais com energia, como em termos de melhoria do ambiente. Para se proceder à renovação ou grande renovação de edifícios, consoante os casos, será necessário, em primeiro lugar, aumentar o desempenho energético dos edifícios, ou seja, isolar as envolventes das construções, tanto em coberturas, como em fachadas, como em pavimentos e seguindo critérios exigentes de eficiência energética. Só deverá ser fomentado o uso de equipamentos mais eficientes após a obtenção daquele passo e, neste caso, procurando criar habitações ou serviços que cumpram os requisitos NZEB (edifícios com necessidades quase nulas de energia).

A forte aposta na eficiência energética conduzirá a um salto qualitativo para a população portuguesa, reduzindo significativamente as situações de pobreza energética, que, no presente, afetam milhares de famílias. Esta necessidade de intervenções nos fogos, motivada pelas questões de melhoria de eficiência energética e intensificada pelo aumento do preço da energia originado pelo conflito da Ucrânia, gera um enorme mercado de reabilitação para as empresas.

### Organismos Intervenientes

Entidade	Contacto
Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento	Secretaria-Geral da Economia. Av. da República, 79 1069-218 Lisboa. Tel. 217 911 600
Direção-Geral de Energia e Geologia	Av. 5 de Outubro, n.º 208, 1069-203 Lisboa, Tel. 217 922 700
ADENE – Agência para a Energia	Av. 5 de Outubro, 208 – 2º 1050-065 Lisboa, Tel. 214 722 800

### Legislação e Regulamentação Aplicável

Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro - Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios.

Decreto-Lei n.º 50/2010, de 20 de maio - Cria o Fundo de Eficiência Energética previsto no Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética.

Despacho n.º 6476-E/2021, de 1 de julho - Determina o restante conteúdo obrigatório dos certificados energéticos.

### Quem pode ajudar / Onde obter informação

Entidade	Contacto
AICCOPN - Ass. dos Industriais da C.C. e Obras Públicas	R. de Álvares Cabral 306, 4050-040 Porto, Tel. 22 340 2200
Casa Eficiente 2020	<a href="https://casaeficiente2020.pt/contactos/">https://casaeficiente2020.pt/contactos/</a>
Portal Casa +	<a href="https://portalcasamais.pt/particulares/">https://portalcasamais.pt/particulares/</a> <a href="https://portalcasamais.pt/profissionais/">https://portalcasamais.pt/profissionais/</a>
Direção-Geral de Energia e Geologia	<a href="https://www.dgeg.gov.pt/">https://www.dgeg.gov.pt/</a>

## **Orientações Úteis para as Empresas - Materiais de Construção Avançados**

### **Situação Atual**

O mercado dos materiais de construção para utilização no âmbito da reabilitação do edificado sofreu, em tempos recentes, um impulso significativo. Com este impulso ganhou amplitude tanto a oferta de materiais tradicionais como o desenvolvimento e disponibilidade de materiais de construção avançados.

Assim, existe atualmente no mercado uma enorme panóplia de materiais para a construção e reabilitação, possuindo propriedades muito distintas que permitem responder a diferentes exigências da procura.

Os materiais de construção têm crescentemente de apresentar boas características em termos térmicos, acústicos, de combate a incêndio e de acessibilidade, entre outros, possibilitando a conjugação das diversas necessidades contemporâneas de conforto, estética e durabilidade.

A relevância ambiental tornou-se um alicerce das escolhas a efetuar em termos de materiais de construção, englobando conceitos como a pegada de CO<sub>2</sub>, a energia incorporada e a Análise de Ciclo de Vida (ACV), conduzindo à preferência por materiais com incorporação de resíduos e por materiais recicláveis.

### **Oportunidades e Desafios para o Futuro**

A progressiva introdução de tecnologias inovadoras no âmbito da Reabilitação 4.0 está a permitir o desenvolvimento e aplicação de materiais novos, mas também dos tradicionais, com novas características e metodologias de colocação.

Respeitando os princípios “4.0”, o setor deve pautar-se pela racionalização dos materiais disponíveis, pela utilização de materiais mais eficientes e sustentáveis, reduzindo a produção de resíduos e mitigando a escassez de matérias-primas. O cumprimento destes pressupostos é suportado pelas tecnologias emergentes de planeamento, de apoio à decisão e otimização de processos e recursos, nomeadamente do BIM, Big data, cloud computing, inteligência artificial, IoT, realidade virtual e aumentada.

Entretanto, o desenvolvimento e promoção de materiais mais sustentáveis e eficientes energeticamente é ainda um desafio e uma oportunidade para o mercado da Reabilitação 4.0. Atingida a generalização do uso deste tipo de materiais alternativos, fará sentido a industrialização dos processos de fabrico, recorrendo, por exemplo, a ferramentas de manufatura aditiva e impressão 3D. No sentido de se alcançar este objetivo, importa que as empresas, para além da utilização de tecnologias inovadoras, tenham em consideração a relevância de apostarem no desenvolvimento de nanomateriais, no fabrico de materiais que precisem de pouca energia incorporada e que tenham baixa emissão de CO<sub>2</sub>, na utilização de recursos humanos qualificados e de materiais compatíveis com as performances de projeto desejadas.

### **Organismos Intervenientes**

<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.	<a href="http://www.lnec.pt/pt/">http://www.lnec.pt/pt/</a>
RILEM - The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures	<a href="http://www.rilem.net">http://www.rilem.net</a>
ASAE - Autoridade de Segurança Alimentar e Económica	<a href="https://www.asae.gov.pt/legislacao1/ambiente-e-seguranca/produtos-de-construcao.aspx">https://www.asae.gov.pt/legislacao1/ambiente-e-seguranca/produtos-de-construcao.aspx</a>

### **Legislação e Regulamentação Aplicável**

Regulamento (UE) N.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março - Estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção.

EN 16883 - Conservation of cultural heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic buildings (2017).

EN 16853:2017 - Conservation of cultural heritage - Conservation process - Decision making, planning and implementation.

EN 16515 - Conservation of Cultural Heritage - Guidelines to characterize natural stone used in cultural heritage.

EN 16572:2015 - Conservation of cultural heritage - Glossary of technical terms concerning mortars for masonry, renders and plasters used in cultural heritage.

### Quem pode ajudar / Onde obter informação

Entidade	Contacto
AICCOPN - Ass. dos Industriais da C.C. e Obras Públicas	R. de Álvares Cabral 306, 4050-040 Porto, Tel. 22 340 2200.
Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro	Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Tel. 234370049.
Centro da Terra	Rua Engenheiro Costa Serrão 25, 7540-185, União das Freguesias de Santiago do Cacém, Web: <a href="https://centrodaterra.org/">https://centrodaterra.org/</a>
CICCOPN - Centro de Formação Profissional da Indústria da C. Civil e Obras Públicas do Norte	Rua de Espinhosa, 4475-699 Avioso S. Pedro, Maia, Tel. 22 986 64 00.

## **Orientações Úteis para as Empresas - Tecnologias na Reabilitação Urbana 4.0**

### **Situação Atual**

A utilização de tecnologias avançadas para recolher, processar, representar e gerir a informação, bem como para auxiliar a execução de obras tem vindo a crescer e a diversificar-se na Reabilitação Urbana 4.0. De facto, tecnologias como o BIM, a sensorização e análise preditiva, a monitorização wireless e o equipamento conectado, a construção autónoma, a impressão 3D e a manufatura aditiva, a realidade virtual e aumentada, a fotogrametria e o varrimento laser, entre outras, permitem desenvolver processos de intervenção e ferramentas de gestão do edificado mais eficientes e sustentáveis. Estas tecnologias alavancam a inovação e trazem consigo vantagens competitivas assinaláveis, com reflexos óbvios na rentabilização dos processos construtivos.

Existe, no entanto, ainda um longo percurso a percorrer até que este conjunto de tecnologias seja plenamente integrado na atividade quotidiana das empresas, sobretudo entre aquelas que têm pequena dimensão e reduzida capacidade financeira.

### **Oportunidades e Desafios para o Futuro**

O caminho para o crescimento tecnológico do setor parece estar bastante bem aceite, sendo necessário agora criar as condições para generalizar a utilização das tecnologias já em fase de implementação prática e investir no desenvolvimento das tecnologias emergentes para que a curto/médio prazo possa ser exequível a sua utilização. Continua, no entanto, a constituir um repto a divulgação e a demonstração das potencialidades das tecnologias entre as empresas do setor, assim como a formação de profissionais qualificados para as operar em ambiente empresarial.

Neste sentido, o estabelecimento de parcerias e a troca de experiências entre empresas, bem como a colaboração com Universidades e Centros de Investigação, são cruciais para promover a implementação e consolidação das tecnologias avançadas nas empresas, e constituem desafios fundamentais para alavancar o novo paradigma da Construção e Reabilitação 4.0 no mercado.

### **Organismos Intervenientes**

<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
ANI – Agência Nacional de Inovação	<a href="https://www.ani.pt/">https://www.ani.pt/</a>
BuildingSMART	<a href="https://www.buildingsmart.org">https://www.buildingsmart.org</a>
Instituto Português da Qualidade (CT197 BIM)	R. António Gião 2, 2825-002 Caparica. Tel. 21 294 8100. <a href="https://www.ipq.pt">https://www.ipq.pt</a>

### **Legislação e Regulamentação Aplicável**

Série ISO 19650 - 'Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modeling -- Information management using building information modeling'.

Nota: Trata-se de um conjunto de áreas de conhecimento e de atuação verdadeiramente emergentes, onde o desenvolvimento de legislação e regulamentação está ainda a dar os primeiros passos.

### **Quem pode ajudar / Onde obter informação**

<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
AICCOPN - Ass. Industriais da C.C. e Obras Públicas	R. de Álvares Cabral 306, 4050-040 Porto. Tel. 22 340 2200
BIMMS - BIM Management Solutions	R. do Campo Alegre 670, SLDF, 4150-171 Porto. Tel. 22 098 2222. <a href="https://www.bimms.net">https://www.bimms.net</a> .
AUTODESK	<a href="https://www.autodesk.pt/">https://www.autodesk.pt/</a>

## **Orientações Úteis para as Empresas - Recursos Humanos na Reabilitação Urbana 4.0**

### **Situação Atual**

As empresas de construção e reabilitação necessitam presentemente de mais de 80 mil trabalhadores para responder às necessidades do setor. Esta falta de mão-de-obra fica a dever-se, por um lado, à saída de recursos humanos para o estrangeiro e à reconversão de trabalhadores para outras atividades no período de crise que o setor atravessou a partir do final da primeira década deste século e, por outro lado, à falta de capacidade do setor para atrair os jovens. Esta situação torna-se mais grave devido, em particular, ao incremento da atividade na reabilitação urbana e ao previsível aumento do volume de obras nos próximos anos, dada a maior disponibilidade de recursos financeiros provenientes do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) e do novo Quadro Comunitário de Apoio, Portugal 2030.

### **Oportunidades e Desafios para o Futuro**

A Revolução Industrial 4.0 será uma ótima oportunidade para captar recursos humanos qualificados para o setor, tornando-o mais apelativo para muitos jovens trabalhadores qualificados que procuram um trabalho mais adaptado às novas tecnologias. A evolução tecnológica irá também permitir que muitos dos trabalhos mais pesados possam ser realizados por equipamentos automatizados, melhorando assim as condições de trabalho dos trabalhadores e fazendo com que as profissões relacionadas com a construção sejam mais valorizadas pela sociedade e mais atrativas, inclusivamente para as mulheres.

### **Organismos Intervenientes**

<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social	Praça de Londres, N.º 2, 1049-056 Lisboa. Tel. 215 963 800
Ministério dos Negócios Estrangeiros	Largo do Rilvas, 1399-030 Lisboa. Tel. 213 946 000
Ministério da Ciência e Tecnologia e Ensino Superior	Palácio das Laranjeiras, Estrada das Laranjeiras, 205 - 1649-018 Lisboa. Tel. 217 231 000
IEFP - Instituto de Emprego e Formação Profissional	Rua de Xabregas, n.º 52, 1949-003 Lisboa. Tel. 21 580 21 00

### **Legislação e Regulamentação Aplicável**

Portaria n.º 781/2009, de 23 de julho - CNQ - Catálogo Nacional de Qualificações.

Legislação na área da Imigração e Refugiados.

Lei n.º 7/2009, de 12 de fevereiro - Código do Trabalho.

Resolução da Assembleia da República n.º 313/2021 - Acordo sobre a Mobilidade entre Estados Membros da CPLP.

### **Quem pode ajudar / Onde obter informação**

<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
AICCOPN - Assoc. Industriais da C.C. e Obras Públicas	Rua de Álvares Cabral 306, 4050-040 Porto. Tel. 22 340 2200
AICEP - Agência de Investimento e Comércio Externo de Portugal	Av.ª Defensores de Chaves, 15 -7A, 1000-109 LISBOA. Tel. 21 312 9650
ACT - Autoridade para as Condições do Trabalho	Avenida Casal Ribeiro, 18 - A, 1000-092 Lisboa. Tel. 21 330 87 00. E-mail - geral@act.gov.pt
CICCOPN - Centro de Formação Profissional da Indústria da C. Civil e Obras Públicas do Norte	Rua de Espinhosa, 4475-699 Avioso S. Pedro (Maia). Tel. 22 986 64 00
CENFIC - Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Sul	Av. Severiano Falcão, 2689-516 Prior Velho. Tel. 21 940 6300. E-mail - cenfic@cenfic.pt

## **Orientações Úteis para as Empresas - Segurança e Saúde na Reabilitação Urbana 4.0**

### **Situação Atual**

A introdução de maquinaria inovadora e de novas tecnologias no setor da construção tem vindo a aumentar nas últimas décadas, o que tem contribuído para reduzir o risco de acidentes, executando-se os trabalhos com maior segurança.

Existem hoje em dia equipamentos mais sofisticados, em termos de proteção individual e coletiva, que ajudam a prevenir e a minorar os acidentes e as doenças profissionais dos trabalhadores. No entanto, para que isso se verifique, é necessário que as empresas adquiram esses equipamentos, que os trabalhadores recebam formação adequada e que todos os intervenientes se consciencializem da relevância desta temática.

### **Oportunidades e Desafios para o Futuro**

A evolução tecnológica e o desenvolvimento da Reabilitação Urbana 4.0 possibilitam vários benefícios em termos de segurança e saúde, nomeadamente:

- Execução de tarefas com menor risco de acidentes;
- Diminuição da quantidade de mão-de-obra, mas sendo necessários recursos humanos com maior especialização;
- Maior rapidez na execução de tarefas e simultaneamente mais segurança;
- Redução das tarefas mais pesadas e difíceis, devido à maior utilização de equipamentos e tecnologias.

Por exemplo, são benefícios para a segurança e saúde dos trabalhadores, a utilização de dispositivos eletrónicos, designadamente câmaras e sensores, acoplados na roupa ou nos capacetes que permitem fazer um registo da temperatura do trabalhador, da humidade relativa do local onde se encontra, do seu ritmo cardíaco, da qualidade do ar, entre outros. Em trabalhos que envolvem riscos muito elevados para os trabalhadores, a utilização de drones (para trabalhos em altura) ou de robôs (para trabalhos em espaços de difícil acesso como é o caso das condutas hidráulicas) eliminam esses riscos.

Por outro lado, o levantamento inspetivo e de diagnóstico dos materiais com riscos especiais, recorrendo a técnicas de Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM) e de Microscopia Eletrónica de Transmissão (TEM), permitem a implementação de cuidados mais adequados aquando de uma intervenção de Reabilitação, pelo que se deverá assistir ao incremento destas técnicas nos próximos anos.

### **Organismos Intervenientes**

<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
ACT - Autoridade para as Condições do Trabalho	E-mail - geral@act.gov.pt
APSEI – Associação Portuguesa de Segurança	<a href="https://www.apsei.org.pt">https://www.apsei.org.pt</a>
LNEG - Laboratório Nacional de Engenharia Geológica	E-mail - info@lneg.pt

### **Legislação e Regulamentação Aplicável**

Decreto-Lei n.º 273/2003, de 29 de outubro de 2003 - Revisão da regulamentação das condições de segurança e de saúde no trabalho em estaleiros temporários ou móveis.

Decreto-Lei nº 266/2007, de 24 de julho - Proteção sanitária dos trabalhadores contra os riscos de exposição ao amianto durante o trabalho.

Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro - Regime geral da gestão de resíduos, regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e alteração do regime da gestão de fluxos específicos de resíduos.

Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro - Regulamenta o regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho.

Lei n.º 3/2014 de 28 de janeiro - Segunda alteração ao regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho, aprovado pela Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro.

<b>Quem pode ajudar / Onde obter informação</b>	
<b>Entidade</b>	<b>Contacto</b>
AICCOPN - Ass. dos Industriais da C.C. e Obras Públicas	R. de Álvares Cabral 306, 4050-040 Porto, Tel. 22 340 2200
UTAD - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro	E-mail - ume@utad.pt
IPVC-ESTG - Instituto Politécnico de Viana do Castelo	E-mail - geral@ipvc.pt

## **SUMÁRIOS EXECUTIVOS DOS CAPÍTULOS**

## Sumário Executivo do Capítulo 1

### **A Revolução industrial 4.0 e o seu Impacto nas Atividades da Construção e Reabilitação**

Desde meados da década passada, assiste-se à emergência da denominada **4ª Revolução Industrial, a qual está a provocar transformações disruptivas muito importantes em termos civilizacionais.**

Com efeito, depois da Revolução Mecânica (1ª Revolução), da Revolução Elétrica (2ª Revolução) e da Automatização (3ª Revolução) que marcaram os dois últimos séculos, a Indústria 4.0 (4ª Revolução), baseada fundamentalmente na utilização de tecnologias inovadoras, onde o mundo físico da indústria convencional se integra com o mundo digital, está a ter repercussões muito significativas no modo como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos.

**A Indústria 4.0 traz expressivos benefícios para os processos industriais, designadamente ganhos de eficiência e de tempo, e poupanças de recursos e de custos, que se traduzem em aumentos de produtividade para as empresas e para a economia em geral.**

No entanto, importa sublinhar-se que existem notórias diferenças entre a 4ª Revolução Industrial e as revoluções industriais anteriores. De realçar, o facto dos ganhos de produtividade decorrentes das três primeiras revoluções industriais terem sido conseguidos essencialmente através da utilização exaustiva de recursos naturais. Em contrapartida, na 4ª Revolução Industrial existe uma grande preocupação com o ambiente, pelo que os ganhos de produtividade resultam do emprego de novas tecnologias que visam acelerar a transição para uma economia verde, circular e descarbonizada.

Neste contexto, **a integração de diferentes tecnologias inovadoras na forma de projetar, construir e gerir as obras fez surgir a Construção e a Reabilitação 4.0.** Através da utilização de tecnologias como a Pré-fabricação e a Construção modular, os Materiais de construção avançados, a Impressão 3D e a Manufatura aditiva, a Construção autónoma, a Monitorização *wireless* e o Equipamento conectado, o Big data e a Análise preditiva, a Realidade aumentada e Virtualização, a Fotogrametria e o Varrimento Laser e o *Building Information Modeling* (BIM), **está a iniciar-se um novo paradigma no setor da Construção e da Reabilitação.**

No caso português, existem já muitas empresas nas quais a Construção e a Reabilitação 4.0 é uma realidade visível nas suas atividades. Com efeito, a cada dia que passa é maior o uso de ferramentas tecnológicas em tarefas como os cálculos estruturais, a georreferenciação, a gestão

integrada de projetos, a instalação de estaleiros de obras, ou a pré-fabricação de módulos para edifícios. Existem também algumas empresas, embora em menor número, que apostam em iniciativas mais arrojadas, como sejam o recurso a drones para o acompanhamento de obras e de trabalhos em altura, a impressão em 3D de componentes construtivas ou a utilização de equipamentos robotizados para a execução de tarefas, sobretudo em estaleiro.

Contudo, verifica-se que ainda há um grande caminho a percorrer para que a Reabilitação 4.0 seja, de facto, uma realidade generalizada entre as empresas portuguesas, em particular entre as empresas de menor dimensão e de reduzida capacidade técnica e financeira.

Com efeito, é conhecido o défice digital e a falta de competências específicas neste campo, constituindo um enorme desafio para as empresas de engenharia e construção nacionais o desenvolvimento e a integração das ferramentas tecnológicas que Reabilitação 4.0 carece.

Por outro lado, impõe-se sublinhar que **até ao final desta década, Portugal irá receber um montante de cerca de 61 mil milhões de € de apoio financeiro vindo da Europa, para resolver os problemas estruturais seculares que assolam o território nacional.** Trata-se de uma quantia extraordinária que resulta do somatório de 16,6 mil milhões de € provenientes do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), de 29,8 mil milhões de € dos fundos comunitários do próximo quadro plurianual da União Europeia 2030, de 12,8 mil milhões de € do atual quadro comunitário Portugal 2020 que podem ser utilizadas até 2023 e, ainda, de 1,8 mil milhões de € do reforço da coesão através do REACT/EU (Assistência de Recuperação para a Coesão e os Territórios da Europa). Estes valores poderão ainda ser ampliados, dada a possibilidade de Portugal poder recorrer a empréstimos da União Europeia de cerca de 15,7 mil milhões de € em condições muito vantajosas em termos de exigências e de juros.

Só para o setor habitacional, estão já assegurados 2,215 milhões de € para as intervenções apoiadas por investimento público, para o período entre 2021 e 2026. Estes valores serão ainda reforçados por novos programas de apoio financeiro que estão a ser preparados em Bruxelas, sobretudo para a área da energia, aos quais se deve somar o investimento privado a realizar neste âmbito.

São, portanto, **colocados à disposição do País recursos financeiros ímpares, sendo que uma grande parte deles será canalizada direta ou indiretamente para o setor da Construção e Reabilitação. Assim, nos próximos anos é de esperar o lançamento de um grande volume de obras,** devendo para o efeito ser criadas as condições que possibilitem a sua execução, designadamente no que se refere aos recursos humanos, materiais e tecnológicos necessários.

Neste sentido, o Governo deve ter em consideração **as dificuldades com que se debatem atualmente as empresas de Construção e Reabilitação nacionais (nomeadamente de escassez de recursos humanos em quantidade e qualidade e de falta e custo dos materiais), auxiliando-as e proporcionando-lhes os meios para poderem responder aos desafios que se avizinham.** De outra forma, as metas do PRR, do Portugal 2030 ou dos programas habitacionais estarão em causa, bem como os objetivos de convergência real de Portugal com os países da União Europeia.

Assim, é imprescindível que se incrementem a ajuda e os incentivos do Estado, sobretudo nas pequenas e médias empresas do setor, promovendo uma mudança tecnológica efetiva para a Construção e a Reabilitação 4.0. Entre outras medidas, aconselha-se a instituição de uma política de incentivos na contratação de colaboradores que aposte nos jovens talentos e que valorize os conhecimentos tecnológicos e a capacidade de inovação; o aumento do investimento em investigação, desenvolvimento e inovação, o que implica a aquisição de tecnologia e de recursos humanos especializados; e a criação de parcerias entre empresas, universidades e centros de investigação, desenvolvendo trabalhos de colaboração em rede, nomeadamente direcionados para a inovação e a modernização tecnológica na Reabilitação 4.0.

Importa salientar que, entre as 20 componentes que compõem o PRR, **estão previstas duas, a componente C6 - Qualificações e Competências, possuindo 1,324 milhões de €, e a componente C16 - Empresas 4.0, possuindo 650 milhões de €, cujos valores podem e devem ser aproveitados pelas empresas de Construção e de Reabilitação 4.0 para se qualificarem e modernizarem em termos dos seus recursos humanos e tecnológicos.**

## Sumário Executivo do Capítulo 2

### Sustentabilidade e Economia Circular

A sustentabilidade ambiental no setor da construção tem vindo progressivamente a melhorar com o cumprimento de imposições legais e a introdução de algumas novas práticas, nomeadamente de reciclagem e valorização de resíduos de construção e demolição (RCD), mas está ainda longe de atingir os objetivos da economia circular.

As empresas têm vindo a preparar-se para uma legislação cada vez mais restritiva em termos ambientais e com custos muito elevados resultantes de práticas não sustentáveis, em particular associados com a deposição dos RCD. O exercício de potenciar a economia verde é vital para a competitividade das empresas de construção. Neste contexto, tem havido avultados fundos comunitários disponíveis para preparar as empresas neste desígnio, prevendo-se que continue a ser uma área prioritária de financiamento.

**Os principais desafios que se colocam à sustentabilidade e à economia circular na Reabilitação 4.0 passam pela minimização da extração e do consumo de recursos naturais e pela maximização da reutilização e reciclagem de RCD.** Passam ainda, por considerar a **desconstrução como um requisito do projeto de obra e pela implementação das estratégias da Construção 4.0 na reabilitação urbana.**

Os importantes desafios de minimizar a extração e o consumo de recursos naturais e de maximizar a reutilização e a reciclagem de RCD potenciam o surgimento de algumas oportunidades económicas no futuro. Destas, destacam-se as seguintes: a criação de novas empresas e novos negócios especializados em materiais para reutilizar e reciclar; o desenvolvimento de novos materiais mais sustentáveis e menos poluentes, nomeadamente a partir dos RCD; a criação e organização de novos mercados de produtos usados; a eliminação de resíduos, transformando-os em novas matérias-primas e criando-lhes valor acrescentado; a utilização destas práticas de sustentabilidade para redução das emissões de carbono, tirando vantagens económicas da comercialização destas quotas no mercado de carbono. **Importa ter presente que deve ser privilegiada a reabilitação em detrimento da construção nova ou da demolição, pois desta forma consegue-se reduzir significativamente o consumo de recursos e a produção de RCD.**

Por sua vez, o desafio de considerar a desconstrução como um requisito do projeto de obra também potencia algumas oportunidades para o futuro, como sejam: a criação de empresas e

a formação de técnicos habilitados em execução de projetos de desconstrução; a formação tecnológica em Eco-Design, BIM, entre outras; a normalização das formas e das dimensões dos componentes da construção; a organização de mercados de materiais e de componentes da construção usados com a respetiva catalogação.

Finalmente, o desafio da implementação das estratégias da Reabilitação 4.0 permite a **transformação dos edifícios existentes em edifícios inteligentes e sustentáveis, com o desenvolvimento e a utilização de novas tecnologias mais eficientes e menos intrusivas, que possibilitam habitações mais saudáveis e confortáveis e ambientes de trabalho mais seguros e fisicamente menos exigentes.**

Para além de todos estes aspetos, é igualmente importante a implementação sistematizada de estudos de análise de ciclo de vida de materiais, produtos e processos construtivos para avaliar os seus impactes ambientais e selecionar as soluções mais sustentáveis.

Para que possa haver esta evolução, é essencial a criação de parcerias entre o tecido empresarial e as unidades de investigação (universidades e centros de investigação). Só esta sinergia permitirá encontrar soluções inovadoras e que respondam cabalmente às necessidades das empresas.

### **Conforto e Sustentabilidade na Reabilitação 4.0**

A introdução de soluções mais eficientes energeticamente em obras de renovação ou de grande renovação de edifícios é de grande relevância para o tecido económico e social, já que devido sobretudo ao aumento do custo de energia e à emergência das alterações climáticas, existe a premência de:

- Reduzir de forma consistente, os consumos energéticos dos edifícios e, conseqüentemente, reduzir a fatura da energia;
- Reduzir, de forma drástica, as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e, conseqüentemente, o efeito de estufa que tem vindo a ser uma das principais causas do aquecimento global do planeta.

Neste sentido, salienta-se que a forma mais imediata e de menor custo financeiro consiste em **reabilitar energeticamente as envolventes dos edifícios – coberturas, fachadas, pavimentos e vãos envidraçados. Esta reabilitação, além de poupar energia e, assim, diminuir as emissões**

**de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, também melhora substancialmente o conforto interior dos espaços habitados ou de trabalho.**

No entanto, os recursos financeiros disponíveis para incentivar esses tipos de reabilitação têm sido muito subaproveitados e o número de intervenções em edifícios tem sido reduzido. Deste modo, não se tem conseguido atingir os objetivos propostos, já que a decisão de reabilitar tem sido colocada nas mãos dos particulares, os quais necessitam de desenvolver um projeto, contratar um empreiteiro, custear as obras e, só muito mais tarde, são parcialmente indemnizados do investimento feito. Os particulares não têm conhecimentos, nem vocação, para tratar da reabilitação energética das suas habitações.

Assim, entende-se como um imperativo mudar a forma de procedimento da iniciativa de reabilitação energética dos edifícios de habitação coletiva, através por exemplo da criação de um sistema centralizado nas empresas de construção (ou, em alternativa, em Associações como a AICCOPN), as quais poderiam constituir departamentos de reabilitação, certificados, com capacidade para liderar as intervenções de reabilitação energética. Em termos práticos, os procedimentos a desenvolver para os edifícios seriam os seguintes:

- Obter candidaturas de edifícios para reabilitação de envolventes;
- Proceder a um estudo das características de desempenho energético desses edifícios, através da elaboração de certificados energéticos por Perito Qualificado das frações autónomas existentes;
- Proceder a um estudo das medidas de melhoria a implementar nas envolventes desses edifícios, com um cálculo, demonstrado nos mesmos certificados energéticos, das reduções no consumo de energia para aquecimento e para arrefecimento;
- Elaborar o orçamento para execução de trabalhos mediante a aplicação de preços unitários pré-estabelecidos às quantidades reais da obra;
- Obter os fundos necessários para a execução da totalidade da obra;
- Promover o licenciamento da operação urbanística de reabilitação, em nome dos legítimos proprietários, sempre que tal se justifique;
- Promover a elaboração dos certificados energéticos finais por Perito Qualificado que demonstre que as medidas de melhoria foram aplicadas e resultaram num aumento substancial da classe energética das frações autónomas e, conseqüentemente, numa redução dos consumos previstos para aquecimento e arrefecimento, fechando assim o processo perante a entidade financiadora.

Sendo o processo de reabilitação de edifícios gerido de forma profissional e por métodos expeditos e certificados seria certamente mais factível atingir os objetivos e as metas da sustentabilidade, garantindo-se a eficiência energética nos edifícios e o conforto dos seus moradores.

## Sumário Executivo do Capítulo 3

### Materiais de Construção Avançados

No âmbito dos materiais de construção colocam-se três questões essenciais nas intervenções de Reabilitação: Que materiais de construção utilizar na Reabilitação? Quais são os desafios atuais? Como podemos fazer face a estes novos desafios?

#### Que materiais de construção utilizar na Reabilitação?

O campo da reabilitação do edificado tem especificações próprias e necessita de cuidados de intervenção que são distintos da construção nova. Neste contexto, podemos dividir as intervenções em duas épocas principais – até aos anos 50 do século XX e após essa década – não descurando o facto de que a mudança em termos de materiais não foi imediata, mas antes **um ato contínuo que promoveu a coexistência de materiais e técnicas tanto tradicionais, como inovadores**. Se na época anterior aos anos 50 encontramos, nos edifícios a intervir, primordialmente aquilo que designamos como materiais tradicionais – cal aérea, terra, madeira, pedra, gesso – a partir do século XX, com o crescimento da utilização do cimento e a aplicação de elementos metálicos, eles foram paulatinamente sendo substituídos. Na reabilitação do edificado, este (re)conhecimento é primordial, permitindo que as intervenções se guiem por princípios de compatibilidade e, se possível, reversibilidade. Assim, se no edificado mais antigo e algum edificado vernacular é primordial o uso de materiais tradicionais, já no contexto de reabilitação do edificado mais atual, a escolha de materiais é distinta, sendo fundamental uma visão do contexto do edifício como um elemento funcional para se tomarem decisões.

#### Quais são os desafios atuais?

Atualmente, com o desafio 4.0, emergem novas questões que impactam a utilização de materiais no contexto da reabilitação de edifícios. Antes de mais, é relevante mencionar a **mudança sentida em termos de normalização emergente neste setor (Normas DIN EN), que influenciam tanto a escolha de materiais como o desempenho energético do edificado. É neste novo paradigma, que engloba a eficiência energética, o conforto e a saúde dos ocupantes e a sustentabilidade, que recai o campo de escolha dos materiais a utilizar na reabilitação.** Esta necessidade dá azo ao surgimento de novos materiais, cuja análise de ciclo de vida seja favorável (como é o caso da maioria dos materiais tradicionais) e cujo desempenho em termos exigências, englobando conforto e saúde, se revele interessante. O mercado tem respondido a este desafio

com o surgimento de novos materiais, com a disponibilização das características destes materiais e até, por vezes, com uma rotulagem em termos de sustentabilidade.

No entanto, subsistem problemas em termos da falta de recursos humanos com capacidade e experiência para executar a diversidade de soluções existentes, que frequentemente colocam muitos condicionantes e exigências na aplicação dos materiais. Este fator é, por si só, constrangedor duma adequada intervenção de reabilitação e é necessário dotar o mercado de técnicos especializados neste contexto.

### **Como podemos fazer face a estes novos desafios?**

Por um lado, a adaptação aos novos desafios é proporcionada por uma oferta de mercado de materiais variados, por vezes já direcionados para a reabilitação, alguns deles com um cariz sustentável. Também já existem materiais avançados capazes de resolver situações específicas, como por exemplo, proporcionar conforto térmico ou acústico. Ainda assim, **uma maior especificação em termos de aplicabilidade de diversos materiais no contexto da reabilitação beneficiaria o mercado e os intervenientes no projeto e em obra.**

**As universidades, os laboratórios e os centros de investigação podem e devem contribuir para o desenvolvimento de novos materiais, o estudo de soluções integradas, a validação de soluções e para o apoio técnico às empresas,** de forma a complementar necessidades existentes.

A formação contínua de engenheiros, arquitetos e demais intervenientes nestes processos é também um fator relevante para a escolha acertada de materiais e soluções técnicas a implementar.

## Sumário Executivo do Capítulo 4

### Tecnologias na Reabilitação Urbana 4.0

A utilização de tecnologias avançadas para recolher, processar, representar e gerir a informação, bem como para auxiliar a execução de obras, tem vindo a crescer e a diversificar-se na Reabilitação Urbana 4.0.

De facto, tecnologias como o BIM, a sensorização e análise preditiva, a monitorização wireless e o equipamento conectado, a construção autónoma, a impressão 3D e a manufatura aditiva, a realidade virtual e aumentada, a fotogrametria e o varrimento laser, entre outras, permitem desenvolver processos de intervenção e ferramentas de gestão mais eficientes e sustentáveis. **Estas tecnologias alavancam a inovação e trazem consigo vantagens competitivas assinaláveis, com reflexos óbvios na produtividade e rentabilidade dos processos construtivos.**

Assim sendo, **a integração destas novas tecnologias nas empresas de Construção e Reabilitação e a formação e capacitação dos profissionais na utilização das mesmas, constitui um desafio fundamental para a mudança do paradigma organizacional no setor**, que se necessita e deseja, aproximando-o de outros setores onde este tipo de processos e tecnologias estão já mais desenvolvidos.

Existe, portanto, ainda um longo percurso a percorrer até que este conjunto de tecnologias seja plenamente integrado na atividade quotidiana das empresas, sobretudo entre aquelas que têm menor dimensão e reduzida capacidade técnica e financeira.

**A integração de tecnologias avançadas nas empresas necessita de tempo e carece de maiores apoios e incentivos** para se criarem as condições que permitam generalizar a uso das tecnologias já em fase de implementação concreta e investir no desenvolvimento de outras, permitindo que, a curto prazo, possa também ser exequível a sua utilização.

Para o efeito são necessárias medidas que visem o crescimento e consolidação da Construção e Reabilitação 4.0, possibilitando ultrapassar as dificuldades, ao nível de recursos humanos, financeiros e tecnológicos, com que se debatem nesta área as empresas em Portugal.

Em termos estratégicos, **considera-se que esta integração deve ser progressiva e iniciar-se pelas tecnologias já disponíveis e acerca das quais existe algum conhecimento e experiência no mercado.** Muitas das tecnologias têm atualmente custos relativamente baixos e estão facilmente acessíveis, pelo que a sua implementação nas empresas é mais simples e factível.

Assim, após estas estarem estáveis e a permitirem bons resultados é possível dar novo passo no sentido da implantação de outras tecnologias mais avançadas. Agindo desta forma, as empresas estarão melhor preparadas e serão mais competitivas e sustentáveis para enfrentar os desafios do futuro.

## Sumário Executivo do Capítulo 5

### Recursos Humanos na Reabilitação Urbana 4.0

Atualmente, a falta de recursos humanos é considerada pelos industriais do setor da construção civil e obras públicas como um dos principais problemas do setor, sendo a situação ainda mais grave na área da reabilitação urbana. O futuro da construção e da reabilitação será marcado pelo desenvolvimento tecnológico e pela otimização dos edifícios e infraestruturas, tanto novos como existentes, sendo imprescindível atacar o problema fundamental de falta de recursos humanos, quer ao nível de profissionais com conhecimento das técnicas tradicionais, quer de profissionais preparados para a Reabilitação 4.0, com uma especialização e qualificação que acompanhe a evolução do setor e que responda assertivamente a todos estes novos desafios. A Reabilitação 4.0, pelas suas implicações de utilização de novas tecnologias na construção, poderá apresentar-se como uma oportunidade para atrair jovens e mulheres ao setor.

No sentido de minimizar este problema, as empresas do setor da Construção/Reabilitação devem:

- Fazer um investimento significativo na formação dos seus recursos humanos, em especial na área das novas tecnologias e processos relacionados com a Revolução Industrial 4.0;
- Profissionalizar os gestores de recursos humanos;
- Incrementar a melhoria das condições de trabalho e de segurança e saúde;
- Formar os seus dirigentes para uma liderança mais participativa e para a formação de equipas de alta performance com envolvimento ativo dos trabalhadores, quer nos objetivos, quer na forma de os atingir.

Cerca de 25% das necessidades de trabalhadores qualificados na Construção/Reabilitação encontram-se na situação de desempregados. Assim, uma maior interação do IEFP com os Centros de Formação Profissional, como o CICCOPN e o CENFIC, é essencial para garantir uma formação de alta qualidade e especializada a estes desempregados, de acordo com as necessidades do setor, contribuindo ativamente para a sua requalificação profissional e reintegração no mercado de trabalho, bem como para todos os desempregados que estejam interessados em adquirir competências nas áreas deficitárias do setor. Esta formação deve ser o mais equilibrada possível em relação a conhecimentos práticos e teóricos, de maneira a

transmitir ao formando uma perspetiva mais realista do ambiente profissional, sem nunca afastar a possibilidade destes formandos poderem ingressar no Ensino Superior.

Também o Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social, através de contactos com as associações e as empresas do setor, poderá oferecer apoio reforçado ao Ensino Profissional, aproveitando as academias de formação das empresas de maneira a ser incrementada esta componente prática.

O Ministério das Infraestruturas e da Habitação poderia também dar uma contribuição na definição dos  **cursos de formação tendo em conta as necessidades atuais e futuras do setor, para fazer face a todos os projetos de obras públicas planeados pelo Governo de Portugal, com vista a formar recursos humanos mais adequados aos desafios vindouros.**

Em termos do Ensino Superior, as unidades curriculares, de mestrados e especializações na área da reabilitação devem efetivar uma ligação mais forte com as exigências da Revolução Industrial 4.0. Embora a Agência de Avaliação e Acreditação do Ensino Superior (A3ES) seja uma Fundação de Direito Privado, sendo independente no exercício das suas competências, deve seguir princípios orientadores fixados legalmente pelo Estado, propondo-se, assim, que o **Estado dê orientações claras para que no decurso da atividade de avaliação e acreditação da A3ES seja tida em conta a incorporação, nos referidos cursos de ensino superior, de unidades curriculares que abordem as tecnologias e processos relacionados com a Revolução Industrial 4.0 e, em particular, com a Construção e Reabilitação 4.0.**

**Já no que respeita à atuação do Governo da República Portuguesa, apresentam-se de seguida algumas recomendações:**

- Potenciar o recente **Acordo sobre a Mobilidade entre os Estados-Membros da CPLP (Comunidade dos Países de Língua Portuguesa) e as possibilidades que a legislação oferece para a contratação de recursos humanos estrangeiros**, e ao mesmo tempo atrair aqueles que saíram do País durante a crise económico-financeira e que ainda não voltaram, através de programas de captação direcionados;
- Deve o **Ministério que tutela o IEFP dar instruções claras para que a oferta formativa de cursos integrados no Catálogo Nacional de Qualificações seja significativamente ampliada e diversificada no que concerne a cursos ligados à reabilitação urbana**, dando competências aos formandos para reabilitar tanto com técnicas tradicionais como não tradicionais, nomeadamente no que diz respeito às tecnologias ligadas à Reabilitação 4.0;

- Tendo em conta as dificuldades de oferta de recursos humanos para trabalhar no setor da Construção/Reabilitação, deve o Estado promover, junto dos jovens, nas escolas e através da comunicação social, o setor da Construção/Reabilitação como sendo um setor moderno, atraente e com oportunidades em que as novas tecnologias da Revolução Industrial 4.0 são apanágio;
- **Apoio técnico e financeiro para facilitar a constituição de parcerias entre empresas (clusters) e a constituição de “Clubes de Fornecedores”,** que englobem além dos fornecedores em si (preferencialmente PMEs), as empresas nucleares clientes e as entidades de interface não empresariais do sistema de I&D (tais como universidades, institutos de investigação, centros de interface tecnológico, agências de transferência de tecnologia, intermediários de inovação, entre outros);
- **Apoio técnico e financeiro para melhorar o planeamento estratégico das empresas de Construção/Reabilitação,** tornando-as mais eficientes, tecnológicas e sustentáveis, de modo a poderem responder mais eficientemente às expectativas dos clientes e à concorrência que paulatinamente vai incorporando nos seus processos as características da 4.<sup>a</sup> Revolução Industrial. **Será crucial o Estado apoiar a alteração tecnológica das empresas de reabilitação (nomeadamente através de apoios previstos no PRR ao nível da transição digital), sobretudo as PMEs, conducente à incorporação dos componentes e processos específicos da Reabilitação 4.0,** pois se as empresas Portuguesas não acompanharem esta mudança de paradigma, ficarão expostas à forte concorrência internacional, colocando-se numa situação de debilidade e risco que poderá colocar em causa a sua própria sobrevivência e do setor no geral, que é responsável por um número muito significativo de empregos diretos e indiretos, causando graves problemas sociais que depois o Estado terá de resolver de acordo com as suas possibilidades. Neste caso e usando um adágio popular pode dizer-se que “mais vale prevenir do que remediar”.

## Sumário Executivo do Capítulo 6

### Segurança e Saúde na Reabilitação Urbana 4.0

Sendo a área da segurança e saúde no trabalho, uma das que implica maiores preocupações no setor da Construção e da Reabilitação, tem-se assistido nas últimas décadas à implementação de uma série de medidas que originaram melhorias substanciais a este nível, fruto de uma maior consciencialização de todos os intervenientes para a relevância desta temática e da aplicação de inovações tecnológicas na prevenção e minoração dos acidentes e das doenças profissionais.

Com efeito, o campo da segurança e saúde no trabalho, em especial com o desenvolvimento da Revolução Industrial 4.0, está paulatinamente interligado com o desenvolvimento tecnológico, pelo que são necessários recursos humanos cada vez mais especializados e qualificados, já que uma grande parte dos trabalhos exige conhecimentos e competências sobre o espaço digital.

Existe atualmente em Portugal legislação, na sua maioria proveniente da União Europeia, sobre a segurança e saúde no trabalho, com particular destaque para a que respeita aos riscos de acidentes, aos produtos contendo substâncias nocivas, à exposição a agentes químicos perigosos e aos resíduos de construção e demolição. No entanto, é de realçar que ainda não existe legislação sobre a obrigatoriedade de inspeção, diagnóstico e análise de substâncias nocivas com riscos especiais para a saúde, como é o caso do amianto, do chumbo e de alguns materiais que o contêm.

De facto, nas operações de Reabilitação, os trabalhadores são por vezes confrontados com a presença de vários materiais perigosos, como o amianto, o chumbo, entre outros, sem o saberem. Daí a importância de se fazer um levantamento inspetivo e de diagnóstico dos materiais com riscos especiais, recorrendo a técnicas de Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM) e de Microscopia Eletrónica de Transmissão (TEM), de forma a ser possível implementar cuidados adequados aquando de uma intervenção de Reabilitação e/ou de Demolição/Desconstrução.

Por outro lado, devido à crescente importância da economia circular, onde se pretende reutilizar ao máximo os materiais provenientes da Desconstrução, é cada vez mais um imperativo conhecer bem os materiais utilizados nas construções. Só com uma boa identificação dos materiais existentes se pode planear corretamente a sua separação e posterior reutilização. O novo conceito de Desconstrução vem valorizar a reutilização de elementos e materiais de

construção, que passam assim a ter uma mais-valia comercial, pois deixam de ser considerados resíduos sem valor económico.

Os princípios gerais de prevenção têm em conta crescentemente a evolução tecnológica, o que contribui para que o risco de acidente seja substancialmente menor, realizando-se os trabalhos de reabilitação com mais segurança, dado existirem hoje em dia equipamentos mais sofisticados e já com proteção coletiva incorporada e materiais mais amigos do ambiente e isentos de riscos nocivos para os trabalhadores. Equipamentos como os sistemas de cofragem, plataformas de trabalho, andaimes, entivação de valas, plataformas elevatórias e escoramentos estruturais são presentemente muito mais seguros para os trabalhadores, devido às melhorias que a evolução tecnológica lhes permitiu introduzir.

É de todo conveniente que **as medidas preventivas de segurança e saúde estejam crescentemente alicerçadas nos novos equipamentos com tecnologias de ponta 4.0, como os Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), os Robôs, o BIM, a Internet das Coisas, o GPS, a Tecnologia Vestível, entre outros.** Por exemplo, são benefícios claros para a segurança e saúde dos trabalhadores, a utilização de dispositivos eletrónicos, especialmente câmaras e sensores, acoplados na roupa ou nos capacetes que permitem fazer um registo da temperatura do trabalhador, da humidade relativa do local onde se encontra, do seu ritmo cardíaco, da qualidade do ar, entre outros. Em trabalhos que envolvem riscos muito elevados para os trabalhadores, a utilização de *drones* (para trabalhos em altura) ou de robôs (para trabalhos em espaços de difícil acesso, como é o caso das condutas hidráulicas) eliminam esses riscos. Salienta-se que a introdução destas novas tecnologias muitas vezes contribui para um outro princípio geral de prevenção que é o de eliminar o risco na origem.

A disponibilização de informação e a facilidade de comunicação em tempo real são fundamentais para a tomada de decisão e para a gestão mais eficaz dos processos construtivos com o objetivo de se evitarem os acidentes. Neste sentido, a chegada da Internet das Coisas (IoT) veio aumentar significativamente a quantidade e qualidade da informação acessível ao longo de todo o processo de realização de uma obra, incluindo a construção, reabilitação e desconstrução.

Neste âmbito, era importante que as entidades responsáveis pelo sector promovessem cursos de formação profissional para operar com estes novos equipamentos muito avançados tecnologicamente. Os trabalhos que envolvam o uso de novas tecnologias de carácter não tradicional é aconselhável que sejam, sempre que possível, executados por empresas

especializadas para o efeito, pois assim diminui-se o risco de acidentes. Só com trabalhadores com formação profissional apropriada é possível aproveitar positivamente a evolução tecnológica 4.0 para a mitigação dos riscos correlacionados com a segurança e saúde no trabalho.



**AICCOPN**

Associação dos Industriais da Construção  
Civil e Obras Públicas



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional