



REABILITAÇÃO URBANA
INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

MANUAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

CONFORTO E SUSTENTABILIDADE NA REABILITAÇÃO 4.0

OS DESAFIOS E AS SOLUÇÕES NA REABILITAÇÃO URBANA 4.0

2022

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciência e Tecnologia

Centro de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Civil e Qualidade

COM A COLABORAÇÃO

Universidade de Aveiro

Universidade do Minho

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



AICCOPN

Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



R.U.-I.S.

REABILITAÇÃO URBANA
INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

Cofinanciado por

COMPETE
2020

PORTUGAL
2020



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

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 CO₂ 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>Altura do Substrato: 6 a 20 cm Peso próprio: 60 a 150 kg/m² Vegetação: Musgos, ervas, <i>sedum</i>, gramíneas Custo: Baixo Manutenção: Baixa Irrigação: Não Uso: Ecológico (não acessível)</p> <p>Vantagens: 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>Desvantagens: 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>Altura do Substrato: 12 a 25 cm Peso próprio: 120 a 250 kg/m² Vegetação: Arbustos, relva, herbáceas Custo: Médio Manutenção: Periódica Irrigação: Periódica Uso: Jardim</p>	<p>Altura do Substrato: 15 a 40 cm Peso próprio: 180 a 500 kg/m² Vegetação: Árvores e arbustos Custo: Alto Manutenção: Alta Irrigação: Regular Uso: Jardim/ Parque</p> <p>Vantagens: 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>Desvantagens: 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

Sistemas de Paredes Verdes	
Fachada Verde	Directa
	Indirecta
Paredes Vivas	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)).

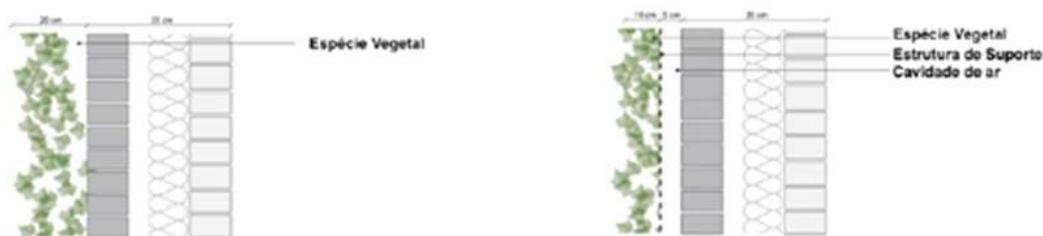


Figura 2.6 - Fachada verde direta (à esquerda) e indireta (direita)

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

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 processamento 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 CO₂.

A reciclagem pode também permitir poupanças de outros materiais. No caso do vidro plano e da lã 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 CO₂ (diretamente ligadas ao processo de fusão). Para a lã 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).

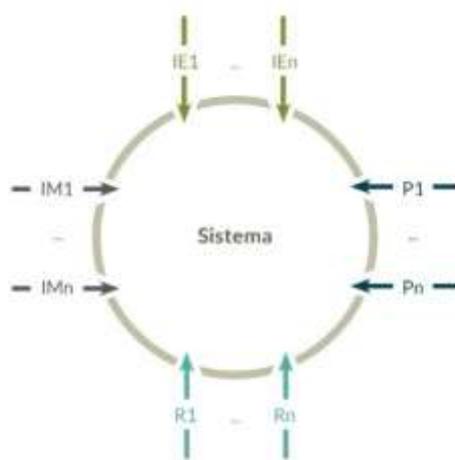


Figura 2.16 - Representação genérica de um sistema de produto

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 CO₂ 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/(m².°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/(m².°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).

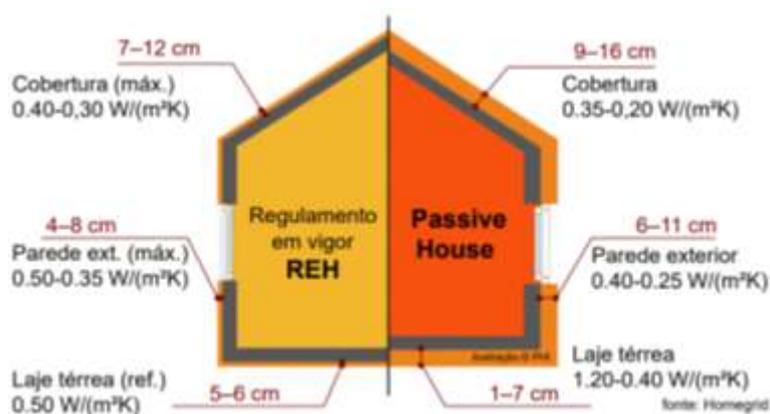


Figura 2.20 - Comparação entre Coeficientes de Transmissão Térmica Prevista na Legislação Atual e nas Regras Passivhaus

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 ² . °C)	Descrição	U (W/m ² . °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,

pelo 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 ² 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 ² 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.

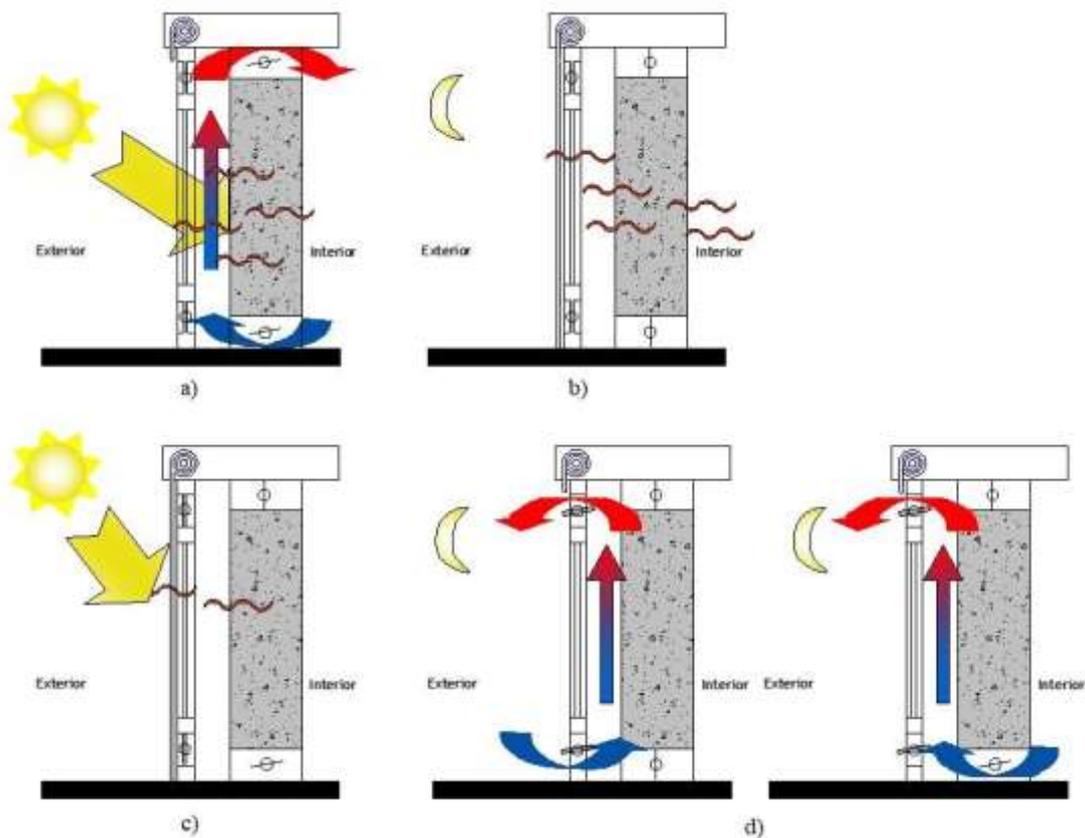


Figura 2.24 - Modo de funcionamento da Parede de Trombe: a) Inverno: período diurno; b) Inverno: período noturno; c) Verão: período diurno; d) Verão: período noturno

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).

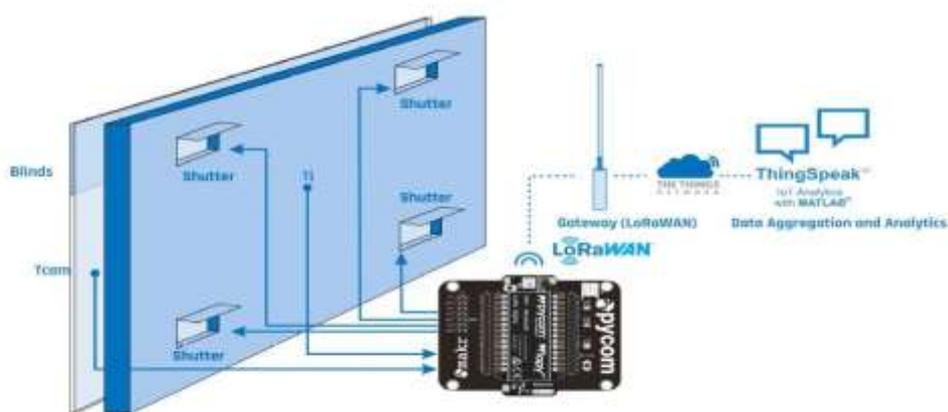


Figure 2.25 - Sistema de controlo e automação da parede de Trombe com transmissão de dados via LoRaWAN

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 m² 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.