



REABILITAÇÃO URBANA
INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

MANUAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO AVANÇADOS

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.-IS.

REABILITAÇÃO URBANA
INTELIGENTE E SUSTENTÁVEL

Cofinanciado por

COMPETE
2020

PORTUGAL
2020



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO AVANÇADOS

3.1 Materiais tradicionais e não tradicionais aplicados na reabilitação

3.1.1 Materiais tradicionais

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

Pedra

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

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

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



Figura 3.1 - Alvenaria de granito (cantaria)

Madeira

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

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

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

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

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



Figura 3.2 - Pavimento em madeira

Cal

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

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

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

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

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



Figura 3.3 - Revestimento interior com cal aérea

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

Gesso

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



Figura 3.4 - Teto estucado

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

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

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

Terra

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

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

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



Figura 3.5 - Argamassa de junta em terra

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

Cerâmica

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

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



Figura 3.6 - Azulejo de revestimento de fachada

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

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

Vidro

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

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

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

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

Aço/Ferro

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

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

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

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

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

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

Cobre/zinco

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

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



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

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



a) Exemplo a



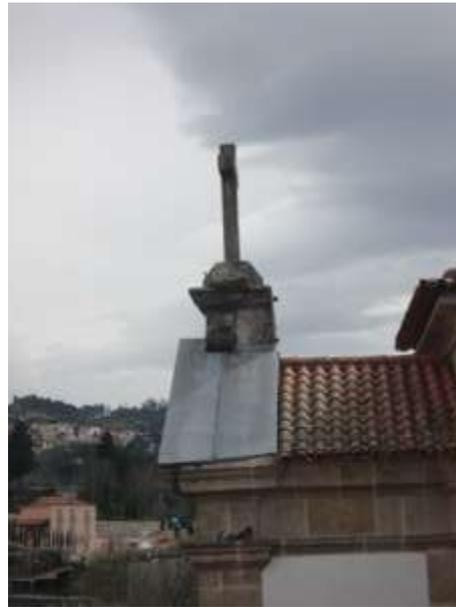
b) Exemplo b

Figura 3.8 - Exemplos de aplicação de zinco

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

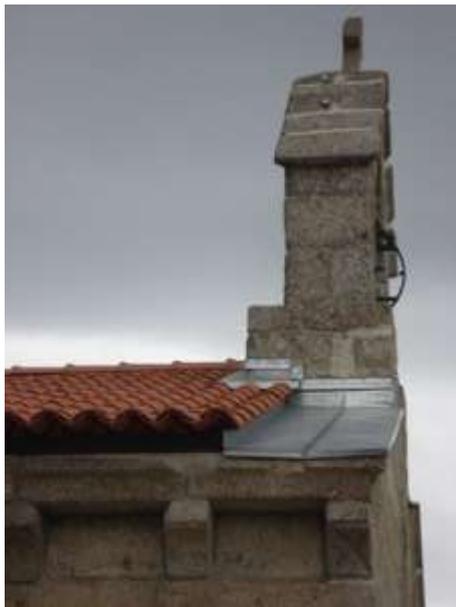


a) Exemplo 1

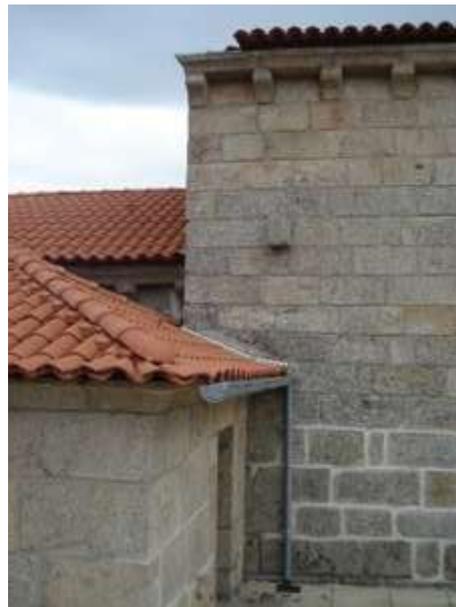


b) Exemplo 2

Figura 3.9 - Exemplos de aplicação de zinco em património religioso



a) Exemplo 1



b) Exemplo 2

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

3.1.2 Materiais não tradicionais

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

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

Cimento de Portland

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

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

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

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

Ligantes orgânicos

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

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

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

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

Fibras sintéticas

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

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

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

Plásticos

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

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

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

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

Gesso cartonado

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

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

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

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

Tintas

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

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

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

Alumínio

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

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

3.2 Requisitos que devem cumprir os materiais usados na Reabilitação 4.0

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

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

No contexto “4.0”, em ambos os casos, a questão da sustentabilidade ambiental é alicerce das escolhas a efetuar em termos de materiais de construção, englobando conceitos como a pegada de CO₂, a energia incorporada e, claramente, a Análise de Ciclo de Vida (ACV). Para além destes requisitos específicos de cariz ambiental, é também fundamental que novos materiais e técnicas, tais como o BIM 5D, nanomateriais e a impressão 3D sejam incorporados numa perspetiva de inovação e Reabilitação 4.0. Para esta finalidade, deve existir uma adaptação dos diversos níveis de formação e ensino e também uma reestruturação exigente, onde tanto a sustentabilidade, como a manutenção estarão incluídas.

3.3 Novos materiais na Reabilitação 4.0

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

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

No contexto do setor energético, como se referiu no capítulo 2, o elevado consumo de energia nos edifícios e o aumento das emissões de CO₂ daí resultantes exige a adoção de soluções construtivas mais eficientes que contribuam para a melhoria do desempenho energético dos edifícios novos e existentes. As Diretrizes Europeias neste domínio apresentam como principal objetivo que, até 2050, o consumo de energia nos edifícios seja praticamente nulo.

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

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

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

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

3.3.1 Materiais incorporando resíduos

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

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

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



Figura 3.11 - Aproveitamento de RCD para o fabrico de blocos

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



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

Fonte - Briga-Sá, A. et al. (2021)

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

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

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



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

Fonte - https://www.archiproducts.com/en/products/manifattura-maiano/natural-insulating-felt-and-panel-for-sustainable-building-recycletherm-km0_8080

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



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

Fonte - Magalhães, L. (2017)

3.3.2 Materiais naturais

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



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

Fonte - www.builderonline.com/products/building-construction-materials/insulating-homes-with-natural-sheeps-wool

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

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



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

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

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

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

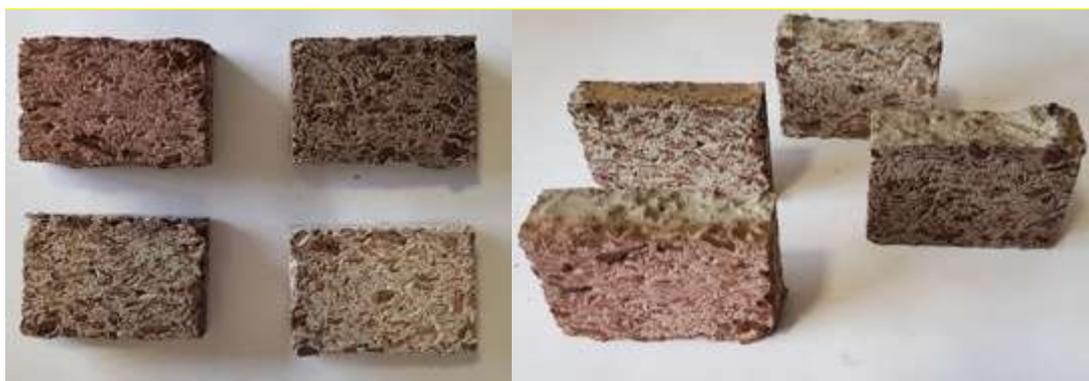


Figura 3.17 - Incorporação de casca de pinheiro na produção de placas de revestimento

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

3.3.3 Materiais estruturais

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

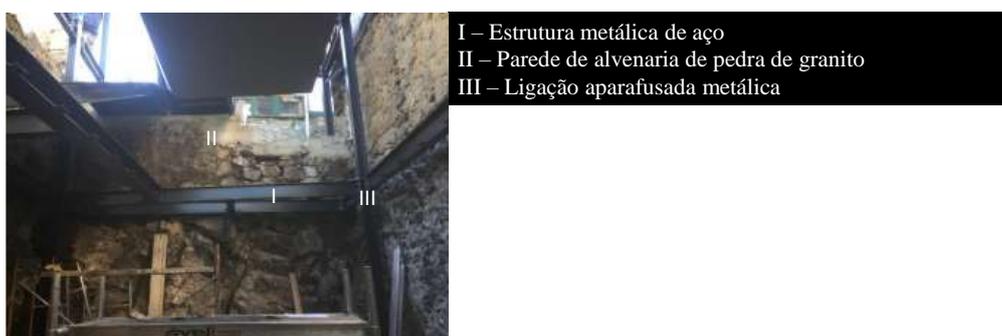


Figura 3.18 - Estrutura metálica



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

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



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

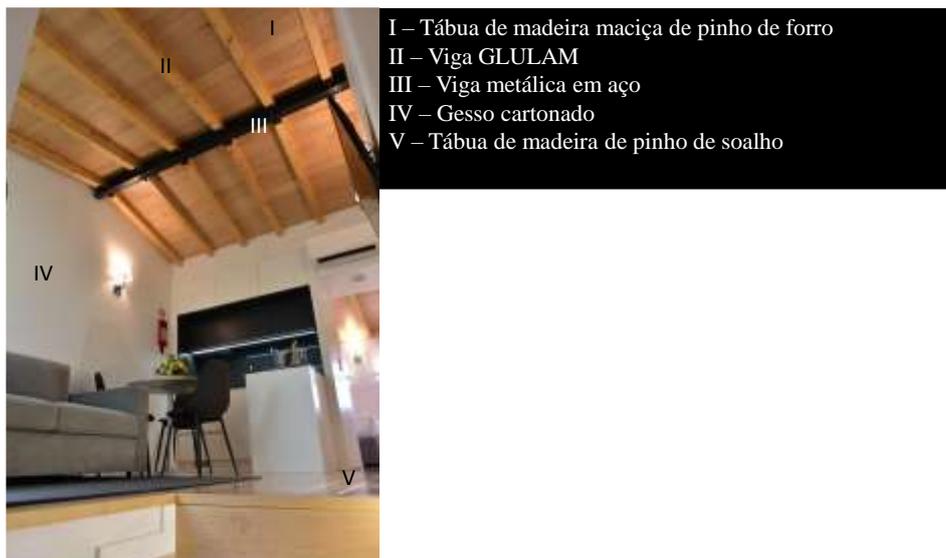


Figura 3.21 - Aplicação de GLULAM ao nível da cobertura

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

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

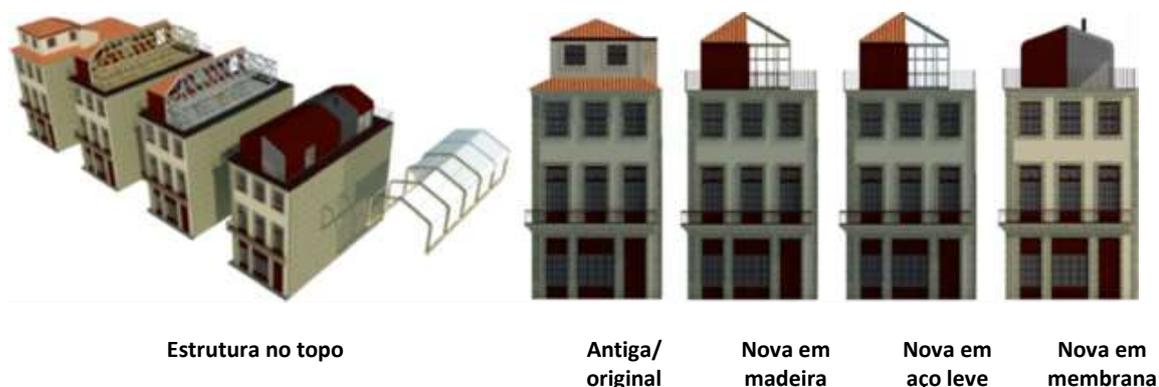


Figura 3.22 - Axonometrias (esquerda) e alçados (direita) relativos a diferentes extensões verticais de um edifício antigo

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

3.3.4 Novos materiais de revestimento

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



Figura 3.23 - Subtelha tipo Onduline betuminosa

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

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

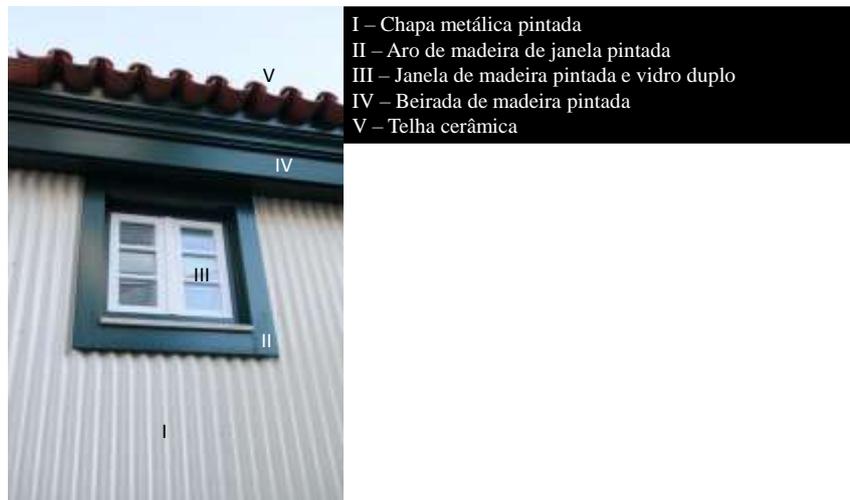


Figura 3.24 - Fachada com revestimento em chapa metálica

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



Figura 3.25 - Alguns materiais de isolamento térmico para paredes



Figura 3.26 - Isolamento de pavimento com lâ mineral

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



Figura 3.27 - Tela anti-radão aplicada em pavimento térreo

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

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



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

3.3.5 Novos materiais para cozinhas e instalações sanitárias

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



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

3.3.6 Novos materiais para caixilharias

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

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

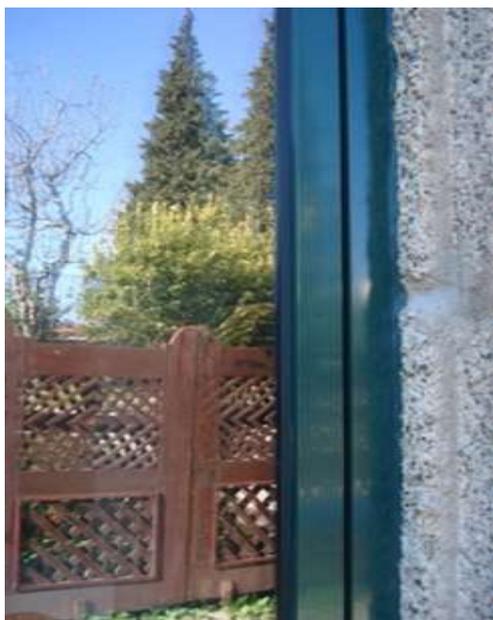


Figura 3.30 - Vão de porta de alumínio lacado com vidro duplo e remate de silicone

3.4 Características técnicas e modo de aplicação dos materiais

As características dos materiais englobam características térmicas, acústicas, resistência mecânica, comportamento face à água, durabilidade, comportamento ao fogo, salubridade/saúde, pegada de CO₂, ACV. A Tabela 3.1 apresenta uma avaliação qualitativa da forma como se comportam os materiais tradicionais relativamente às características antes referidas.

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

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

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

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

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

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

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

3.5 Identificação e análise de problemas relacionados com os materiais

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

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

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

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

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

3.6 Conclusões e Recomendações

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

- Os materiais tradicionais utilizados até meados do século XX devem continuar a ser aplicados nas obras de reabilitação dos edifícios mais antigos;
- Existe uma panóplia de materiais novos que podem ser utilizados em obras de reabilitação de edifícios mais recentes;
- Os materiais tradicionais têm já algum cariz sustentável; no entanto, é extremamente relevante empregar materiais sustentáveis (energia incorporada, emissão CO₂, circularidade, entre outros) no contexto da reabilitação, existindo desenvolvimento de produtos neste contexto;

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