

LIVRO DE ATAS

5º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS
DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS |
CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2024

5º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS
CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2024

6-8 de Novembro, IST, Lisboa, Portugal



Atas CERIS

CERIS : Investigação e Inovação
em Engenharia Civil para
a Sustentabilidade

01





REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS DE MADEIRA POR VIA DA SOLUÇÃO PAVIMENTOS MISTOS: BOAS PRÁTICAS PARA EVITAR INSUCESSOS

Helena Cruz^a; José Saporiti Machado^b; Sónia Duarte^c

^a Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, helenacruz@lnec.pt;

^bsaporiti@lnec.pt; ^csduarte@lnec.pt

RESUMO

A realização de pavimentos mistos madeira-betão é uma técnica construtiva que tira partido das características de ambos os materiais, permitindo realizar pavimentos mais leves do que com lajes de betão armado, mas também mais resistentes, menos flexíveis e com melhor desempenho acústico do que os pavimentos tradicionais de madeira.

É uma técnica amplamente usada, quer em construção nova, quer no âmbito da reabilitação de pavimentos antigos de madeira sobretudo para melhoria do comportamento mecânico do pavimento original, nomeadamente o aumento da resistência e da rigidez e a redução da vibração.

Em reabilitação, uma lâmina de betão é adicionada sobre o pavimento existente. O bom funcionamento desta solução requer uma ligação rígida entre o betão e as vigas de madeira, a solidez das entregas dessas vigas nas paredes e uma execução cuidada, para impedir que a água do betão entre em contacto e seja absorvida pela madeira durante a betonagem e cura do betão, o que irá propiciar, ou agravar, a degradação biológica deste material.

Esta comunicação aborda os pavimentos mistos madeira-betão, especialmente na vertente da reabilitação de edifícios, e apresenta alguns exemplos em que a falta de conhecimento sobre a forma correta de aplicação conduziu ao colapso total de pavimentos.

PALAVRAS-CHAVE

Pavimentos de madeira, pavimentos mistos, betonilha, reabilitação, degradação biológica

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção é responsável por cerca de 36 % das emissões de gases com efeito de estufa e de 40 % de consumo energético (fonte: UE). Assim, o uso de madeira na construção poderá contribuir positivamente para o objetivo "carbono zero" definido pela União Europeia até 2050, dado que é um recurso renovável e de origem natural.

A reabilitação de edifícios antigos requer frequentemente intervenções em pavimentos de madeira, seja para resolver problemas de degradação do material, decorrentes do contacto com água e da ação de agentes de degradação biológica da madeira, tais como fungos de podridão ou insetos xilófagos, seja para corrigir deformações, ou ainda para melhorar o seu comportamento mecânico,



nomeadamente a rigidez e a resistência à flexão, de modo a cumprir as atuais exigências regulamentares (NP EN 1995-1-1). De assinalar que os pavimentos de madeira se inserem na classe de risco 1, associada ao interior das habitações em ambiente seco, devendo a madeira ser aplicada e mantida em condições de serviço sem exposição a agentes atmosféricos ou água líquida (EN335, 2013).

A realização de pavimentos mistos madeira-betão é uma técnica potencialmente interessante para reabilitação de pavimentos antigos de madeira, que tira partido das características de ambos os materiais, permitindo obter pavimentos mais leves do que com lajes de betão armado, mas também mais resistentes, menos flexíveis e com melhor desempenho acústico do que os pavimentos tradicionais de madeira.

Dependendo da tipologia e condições do edifício em causa, esta técnica assegura o princípio da reutilização e pode ser utilizada com sucesso para melhoria do comportamento do pavimento no seu estado atual (ou mesmo do pavimento original), sem remover as estruturas em serviço, e sem alterar drasticamente a massa dos pisos e, conseqüentemente, o comportamento global do edifício aos sismos.

Nesta abordagem, uma pequena lâmina de betão é adicionada sobre o pavimento existente, podendo ser usado o soalho como cofragem. Esta lâmina em compressão é rigidamente ligada às vigas de madeira, que asseguram a resistência à tração do conjunto. O bom funcionamento desta solução requer um adequado dimensionamento, bem como uma ligação rígida entre o betão e as vigas de madeira, a solidez das entregas dessas vigas nas paredes e ainda uma execução cuidada, no sentido de impedir que a água do betão entre em contacto e seja absorvida pela madeira durante a betonagem e cura do betão, o que irá propiciar, ou agravar, a degradação deste material por fungos de podridão ou térmitas subterrâneas.

No entanto, a prática tem mostrado que, em muitas intervenções ditas “de reabilitação” de edifícios, o procedimento seguido passa por aplicar simplesmente uma betonilha sobre o pavimento de madeira existente, sem observar os cuidados referidos, o que se traduz numa sobrecarga significativa sobre as vigas e ocasiona frequentemente o seu apodrecimento e eventual colapso.

2 CONCEITO E VANTAGENS DOS PAVIMENTOS MISTOS MADEIRA-BETÃO

Os pavimentos mistos madeira-betão são obtidos pela combinação de vigas ou pavimentos de madeira e uma lâmina de betão, ligados de forma rígida. A ligação entre a madeira e o betão deve ser realizada de forma a oferecer a necessária resistência e rigidez, essencial para que ambos os materiais funcionem em conjunto.

O betão no banzo superior resiste aos esforços de compressão enquanto a madeira resiste aos esforços de tração e flexão associados às forças gravíticas, devendo para isso a linha neutra da secção transversal coincidir aproximadamente com a interface entre os dois materiais e os ligadores serem capazes de resistir aos esforços de corte desenvolvidos nessa interface (bem como impedir o afastamento entre as duas camadas).

Diversos sistemas de ligação têm vindo a ser utilizados, como ligadores do tipo cavilha (parafusos ou cavilhas metálicas ou de madeira), varões colados, perfis ou chapas metálicas, ou entalhes praticados nas vigas para assegurar o imbricamento entre a madeira e o betão, ou ainda a combinação de diversos destes sistemas (Figura 1). De entre as várias opções, os entalhes na madeira que serão preenchido



por betão e os ligadores contínuos colados são aquelas que asseguram maior rigidez e melhor efeito compósito.

Os ligadores são geralmente posicionados ao longo das vigas em função da distribuição das tensões de corte, pelo que, numa viga bi-apoiada sujeita a carga uniformemente distribuída, o seu espaçamento será progressivamente crescente desde os apoios até meio-vão.



Figura 1 – Algumas ligações usadas em pavimentos mistos madeira-betão

Este conceito esteve na origem de uma patente de Muller (1922), referido por Yeoh, D., et al (2011), tendo sido sucessivamente aplicado em numerosas obras, numa primeira fase sobretudo na reabilitação de edifícios históricos na Europa. Estendeu-se depois a outras utilizações, nomeadamente a construção de tabuleiros de pontes e, mais tarde, a construção de edifícios novos, um pouco por todo o mundo.

Por comparação com as lajes de betão armado, os pavimentos mistos de madeira-betão têm menor massa, associada a uma menor ação sísmica, permitem o aligeiramento das fundações, maior facilidade de transporte e elevação, e eventual dispensa de cofragem, com menores tempos de construção e menor pegada ecológica.

Por comparação com os pavimentos de madeira, os pavimentos mistos de madeira-betão apresentam maior rigidez, melhor isolamento acústico (por serem mais pesados), maior inércia térmica e eventualmente melhor comportamento ao fogo.

A adição de uma lâmina de betão, a um pavimento de madeira, pode ainda melhorar significativamente o seu comportamento de diafragma, vantajoso para o comportamento sísmico global de edifícios tradicionais de alvenaria e madeira. Registe-se, no entanto, que outras medidas podem ser adotadas no mesmo sentido, como por exemplo, a fixação de placas de derivados de madeira estruturais, com boa rigidez ao corte no plano, aos pavimentos existentes.

A identidade histórica e cultural dos edifícios deverá também ser um fator de ponderação no processo de decisão sobre as diversas soluções para reabilitação de pavimentos de madeira.

3 ENQUADRAMENTO NORMATIVO

Em termos regulamentares, o dimensionamento de pavimentos mistos é atualmente enquadrado pelo Eurocódigo 5, parte 2 (NP EN 1995-2), que apresenta disposições específicas para elementos compósitos madeira-betão e respetivas ligações, embora muito sucintas.

No âmbito do desenvolvimento em curso da nova geração de Eurocódigos estruturais, com publicação prevista para 2027, um conjunto alargado de regras de dimensionamento de pavimentos madeira-



betão foi compilado e publicado numa especificação técnica europeia (CEN/TS 19103, 2021). Prevê-se que essas regras venham a constituir uma nova secção da parte 1 do novo Eurocódigo 5 (EN 1995-1). Enquanto isso não se concretiza, deve ser seguido o estipulado na CEN/TS 19103 (2021).

Também a futura versão da EN 1995-2, em preparação, será substancialmente mais extensa e completa, nomeadamente no que se refere a lajes mistas madeira-betão, em articulação com o referido documento. Além disso, prevê-se a publicação de uma nova parte do EC5, a EN 1995-3, cobrindo a execução de estruturas, com regras adicionais.

No caso de intervenções de reabilitação, os documentos normativos a seguir consistem na referida especificação técnica europeia, complementada com informação a retirar dos Eurocódigos, baseando-se, assim, estas intervenções em projetos de dimensionamento estrutural adequados, tendo em conta os materiais existentes, as ações previstas e as condições ambientais de serviço.

4 PAVIMENTOS MISTOS EM CONSTRUÇÃO NOVA

Como referido anteriormente, embora a solução dos pavimentos mistos madeira-betão tenha sido desenvolvida na vertente da reabilitação, com realização *in situ*, mais recentemente ganhou expressão em construção nova através de incorporação em sistemas de prefabricação. Estes sistemas prefabricados são apoiados em Avaliações Técnicas Europeias (ETA) publicados com base em Documentos de Avaliação Europeus (DAE) ou na realização de estudos de viabilidade técnica tendo em conta a regulamentação nacional.

Os pavimentos mistos de madeira-betão têm vindo a ser aplicados na construção de novos edifícios, devido às vantagens que esta solução proporciona (sustentabilidade, exploração otimizada das propriedades de dois materiais de construção distintos). São exemplos alguns sistemas de construção industrializada de edifícios (como o sistema cree – <https://www.creebuildings.com/system>) ou a produção em fábrica de elementos estruturais isolados a incorporar numa obra (Figura 2).



a)



b)

Figura 2 – Exemplos de construção nova segundo um sistema híbrido madeira-betão



5 REABILITAÇÃO E DEGRADAÇÃO DE PAVIMENTOS DE MADEIRA

A reabilitação estrutural de pavimentos de madeira tradicionais é muitas vezes necessária, para assegurar o cumprimento das atuais exigências regulamentares de segurança, em termos de resistência e, sobretudo, de rigidez, bem como para limitação de vibrações ou melhoria do isolamento acústico de forma a respeitar as exigências de conforto na utilização.

Pode ainda ser necessário o reforço estrutural de pavimentos, quando se pretende uma mudança de utilização a que correspondem maiores sobrecargas do que as previstas originalmente.

Uma condição prévia a ações de reforço de pavimentos de madeira é a necessária avaliação do estado de conservação dos elementos de madeira e dos riscos de deterioração inerentes à solução de reforço que venha a ser tomada.

Os agentes de degradação biológica das construções de madeira no nosso país compreendem: fungos de podridão, térmitas subterrâneas e insetos de madeira seca (incluem carunchos e térmitas de madeira seca). É importante referir que diferentes espécies de madeira têm uma durabilidade natural também diferente face aos agentes de degradação biológica. Por exemplo, madeira não tratada de pinho, é considerada pouco durável (EN350, 2016).

Os fungos de podridão atacam a madeira em condições de teor de água elevado, geralmente acima de 20%, sendo frequente a degradação pontual dos vigamentos e soalhos em zonas sujeitas a humedificação acidental (por exemplo, provocadas por roturas de canalizações) ou repetida (em zonas sujeitas a infiltrações pela cobertura ou em contacto com alvenarias exteriores). Nessas situações, a degradação da madeira pode ser intensa, apesar de pontual, comprometendo a capacidade de carga dos elementos afetados e consequentemente a segurança dos pavimentos (Figura 3).

No caso de pavimentos em pisos térreos ou enterrados, com caixas de ar confinadas e não ventiladas, em contacto com ambientes geralmente húmidos, ou outras situações equivalentes, é frequente que toda a madeira do pavimento atinja e mantenha de forma prolongada um teor de água acima dos valores críticos de ataque por fungos, registando consequentemente uma degradação generalizada.

A perda de resistência associada ao ataque por fungos de podridão é difícil de estimar com rigor, pelo que se aconselha uma abordagem conservativa, assumindo que a capacidade de resistência das peças atacadas pode estar comprometida.



Figura 3 – Degradação por fungos de podridão afetando unicamente as entregas húmidas (a) e generalizada a todo o vigamento de uma laje de esteira sob cobertura em mau estado (b)



As térmitas subterrâneas podem atacar a madeira em condições semelhantes às descritas anteriormente para os fungos de podridão, ou seja, quando o seu teor de água se encontra acima de valores da ordem de 18-20 %, principalmente (mas não exclusivamente) quando é aplicada em contacto com, ou próxima do solo.

A degradação da madeira causada por térmitas subterrâneas pode ser muito intensa, afetando maioritariamente as extremidades das vigas em contacto com paredes exteriores húmidas, ou zonas sujeitas a infiltrações de água (da chuva ou devidas a canalizações em mau estado; Figura 4).

Em ambientes particularmente húmidos, como por exemplo, caves sem ventilação ou pavimentos térreos aplicados sem os devidos cuidados de isolamento, a infestação por térmitas subterrâneas pode estender-se de forma generalizada a toda a madeira. Os estragos causados são muitas vezes detetados numa fase avançada, pois estes insetos são crípticos, ou seja, os sinais externos de ataque por térmitas subterrâneas são difíceis de detetar, já que o ataque se processa no interior da madeira.

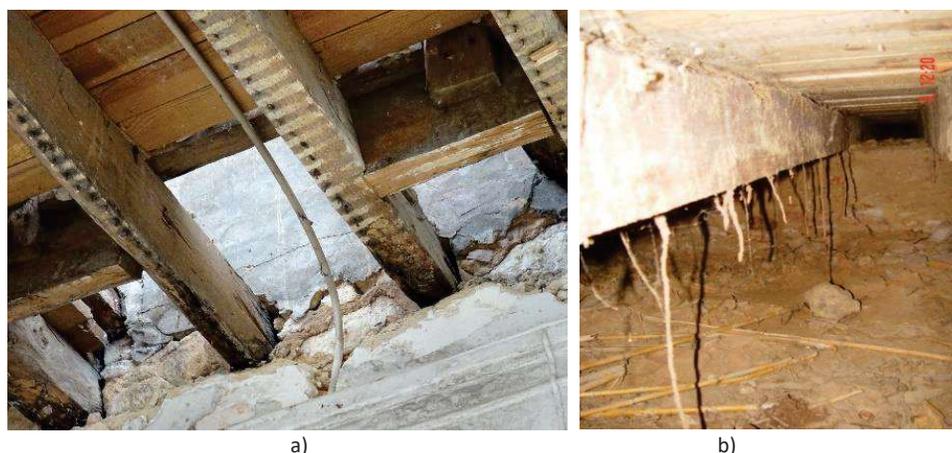


Figura 4 – Vigamento com degradação por térmitas subterrâneas, afetando sobretudo as entregas (a) e ataque generalizado por térmitas subterrâneas em piso térreo com caixa de ar não ventilada (b)

Já os carunchos não requerem teor de água elevado da madeira, atacando normalmente elementos aplicados em ambientes interiores secos. As infestações por carunchos tendem a afetar, de forma generalizada, o borne, e por vezes o cerne, dependendo da espécie de caruncho em questão, de toda a madeira aplicada no local.

A degradação causada à madeira pelos carunchos traduz-se em galerias efetuadas no interior da madeira, e a infestação é detetável muitas vezes pelos orifícios de saída dos insetos adultos, já que a fase larvar é a que se alimenta no interior da madeira (Figura 5). Este ataque está associado a uma determinada redução da secção transversal dos elementos de madeira (Parracha et al. 2018). Mesmo que a secção transversal dos elementos não seja significativamente reduzida, as infestações por carunchos podem ser críticas, por comprometer as ligações, por exemplo, entre o vigamento e os forros de teto.



Figura 5 – Vigamento com degradação generalizada por carunchos

As térmitas de madeira seca mais preocupantes, do ponto de vista do ataque a madeira em serviço, pertencem à espécie *Cryptotermes brevis* Walker. Estes insetos, tal como os carunchos, não necessitam de um elevado teor de água dos elementos de madeira para se instalarem. O nível de ataque por térmitas de madeira seca pode atingir proporções preocupantes. O seu comportamento é semelhante ao das térmitas subterrâneas, na medida em que são crípticas, pois os sinais de ataque são normalmente detetados alguns anos após a sua instalação (Parracha et al. 2018), mas podem ocorrer de forma generalizada em zonas do edifício não sujeitas a humedificação (Figura 6).



Figura 6 – Vigamento com degradação por térmitas de madeira seca

Os agentes de degradação biológica dependem de fatores como a temperatura e a humidade relativa do ar, bem como do teor de água dos elementos de madeira, para se instalarem e causar danos (Cruz e Nunes, 2005). Uma das formas de prevenir infestações por estes agentes é manter o teor de água dos elementos de madeira abaixo do nível ótimo para o seu desenvolvimento, o que será indicado apenas para fungos de podridão e térmitas subterrâneas. Os agentes de degradação biológica necessitam também de alimento para se desenvolverem, ou seja, madeira disponível. A durabilidade conferida através de diversos tipos de tratamento (químico, térmico ou outro) poderá alterar as condições de utilização de madeira como fonte de alimento.

A utilização de soluções mistas madeira-betão poderá contribuir positivamente para a prevenção de ataques por agentes de degradação biológica, já que dificulta o acesso aos elementos de madeira, especialmente relevante para a postura de ovos no caso da reinfestação por insetos.



A realização de pavimentos mistos madeira-betão, no âmbito da reabilitação de estruturas antigas, tira partido do vigamento de madeira existente, e eventualmente do soalho (que funciona como cofragem perdida), aos quais é adicionada uma fina camada de betão.

O funcionamento conjunto entre a madeira e o betão é conseguido pela cravação de ligadores, que devem ser devidamente dimensionados e dispostos de forma criteriosa, ao longo de todo o comprimento das vigas, de forma a conseguir uma ligação resistente e rígida.

Existem diversos ligadores comerciais certificados para este efeito, muitas vezes tendo uma parte roscada, que é cravada na madeira, e uma parte lisa que fica embebida no betão. De forma a aumentar a rigidez da ligação, recomenda-se que os ligadores sejam inseridos diagonalmente ao plano de corte, aos pares, sendo os ligadores do par inclinados em sentidos opostos (Figura 7).



Figura 7 – Exemplos de montagem com ligadores de corte comerciais, vendo-se a armadura de distribuição / controlo de fissuração e a barreira impermeabilizante

É também essencial que as vigas de madeira consigam assegurar a sua função na estrutura compósita, pelo que a utilização desta técnica requer uma avaliação cuidada do estado de conservação da madeira, de forma a avaliar se o vigamento apresenta a solidez necessária, nomeadamente ao nível dos apoios.

Outro aspeto que importa acautelar é o isolamento entre a madeira e o betão fresco, para impedir que a água de amassadura seja absorvida pela madeira, material altamente higroscópico, no processo de betonagem e início da cura.

Por esta razão, é necessário fixar uma barreira impermeável sobre a madeira, que poderá ser materializada por uma pintura isolante ou um por um filme plástico com cerca de 200 μm de espessura, preferencialmente transparente para permitir o correto posicionamento dos ligadores de corte durante a sua instalação. Se o filme plástico for demasiadamente fino, existe o risco de que se rompa durante o processo. Nas emendas entre folhas de filme plástico recomenda-se uma sobreposição simples entre 30 e 40 cm. Uma vez que o betão se estende até à parede, o filme plástico deve subir pela parede, em toda a periferia do pavimento, até uma altura de cerca de 40 cm.

Refira-se, por último, que a camada de betão é dotada de armadura de distribuição, geralmente uma rede metálica para controlar a fendilhação (Figura 7).



6 MÁ PRÁTICAS NA REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS ANTIGOS

Infelizmente, a prática tem mostrado que, em muitas intervenções ditas “de reabilitação” de edifícios, a intervenção envolve a aplicação de betão ou betonilha sobre os pavimentos, mas não respeita em nada as regras básicas de dimensionamento e de execução de pavimentos mistos.

São frequentes as intervenções em que uma camada de betonilha é simplesmente despejada sobre os pavimentos de madeira, com a intenção de os nivelar e, eventualmente, permitir a incorporação de redes de água e esgotos. Em alguns casos, a flecha dos pavimentos antigos ou o seu desnivelamento leva a que essa camada chegue a atingir localmente espessuras de cerca de 20 cm, o que representa um acréscimo de peso considerável.

Por falta de entendimento do funcionamento de uma estrutura compósita, é corrente a total omissão dos ligadores de corte, bem como uma flagrante despreocupação com o estado de conservação dos vigamentos originais, e conseqüente falta de reparação ou reforço, que possam ser eventualmente necessárias. Resultam, deste modo, vigamentos cujas condições precárias de conservação e de segurança são mantidas, sendo agora sobrecarregados de forma significativa com a adição de uma nova camada que não contribui, como devido, para a capacidade resistente do conjunto.

Um outro aspeto crítico é a falta de colocação da necessária barreira impermeável entre a madeira e o betão, o que permite a absorção significativa de água pela madeira, durante a betonagem. A retenção dessa água permite a manutenção de teores de água elevados na madeira durante períodos prolongados, causando ou acelerando de forma drástica o seu apodrecimento ou infestação por térmitas subterrâneas.

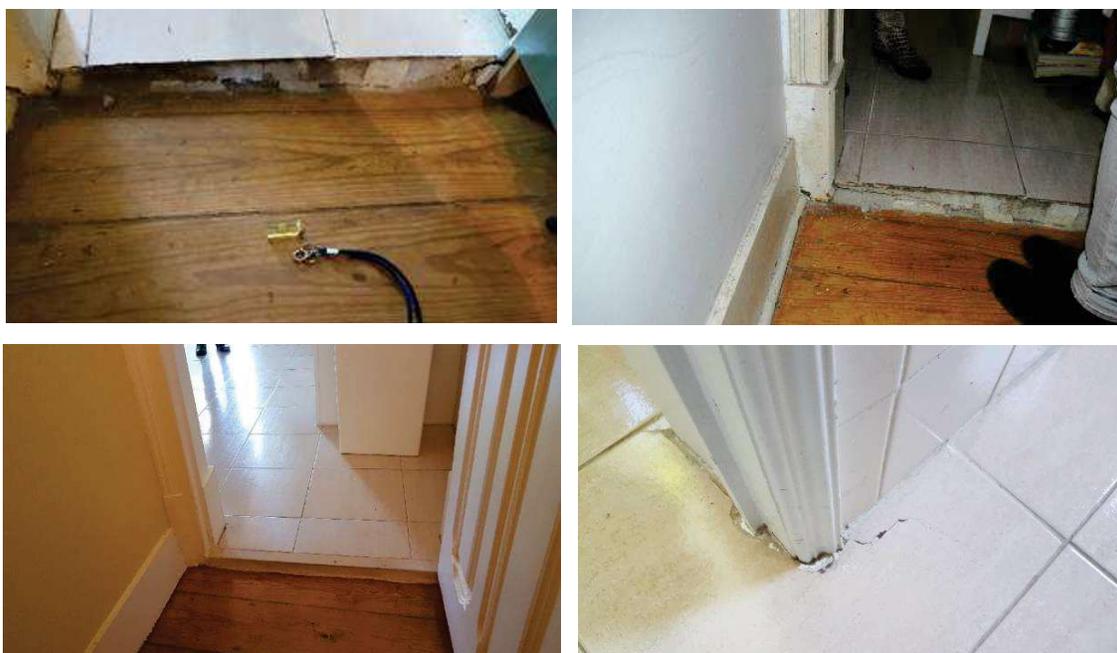


Figura 8 – Pavimentos de cozinhas, evidenciando desligamento entre as camadas de madeira e betonilha e sinais de cedência da estrutura de suporte



Na Figura 8 podem observar-se os resultados da intervenção feita em várias frações de um edifício gaioleiro, em que é visível a deformação dos pavimentos anteriormente “reforçados” com a adição de betonilhas, o desligamento entre a madeira e a camada do material cimentício e a fissuração do revestimento cerâmico devidos à cedência da estrutura de suporte.

As figuras 9 e 10 mostram as consequências desastrosas de uma intervenção incorreta visando o reforço de pavimentos de madeira, feita por simples adição de betonilhas, o que conduziu a um aumento do peso exercido sobre o pavimento de madeira original (a não introdução de ligadores madeira-betão não permite um comportamento solidário entre os dois materiais) e a condições propícias ao apodrecimento da madeira (uma vez que não foi introduzido um filme na interface madeira-“betão” que limitasse a absorção de água pelos elementos de madeira).



Figura 9 – Pavimento que colapsou após adição de betonilha e apodrecimento da madeira



Figura 10 – Pavimento em que a madeira apodreceu, após adição de betonilha, com sinais de rotura e cedência em diversos pontos

7. CONCLUSÕES

Elementos estruturais híbridos (madeira-betão) constituem soluções eficientes e sustentáveis para a construção, ao combinar de forma eficiente num único elemento dois materiais, aproveitando destes a suas melhores características. Na construção nova, estes elementos assentam na prefabricação, garantindo níveis de qualidade elevados na sua execução e colocação em obra, devendo, no entanto, a escolha basear-se em sistemas alvo de Avaliações Técnicas Europeias ou de estudos técnicos por entidades independentes que garantam um comportamento e durabilidade adequados.

A realização de pavimentos mistos em obra, nomeadamente em ações de reabilitação, deve cumprir a normalização ou regulamentação em vigor, sendo necessária a verificação prévia das condições dos elementos de madeira existentes, a atenção cuidada às boas práticas de execução e um dimensionamento adequado da solução a empreender.



REFERÊNCIAS

- CEN/TS 19103 (2021). Eurocode 5: Design of timber structures – Structural design of timber-concrete composite structures – Common rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2021.
- Cruz, H., Nunes, L. (2005). A madeira como material de construção. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Dias, A.M.P.G., Martins, A.R.D., Simões, L.M.C., Providência, P.M., Andrade, A.A.M. (2015). Statistical analysis of timber-concrete connections – mechanical properties. Computers & Structures, 155:67–84. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2015.02.036>
- EN 335 (2013). Durability of wood and wood-based products – Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2013.
- EN 350 (2016). Durability of wood and wood-based products – Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2016.
- NP EN 1995-1(2022). Eurocódigo 5: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Regras gerais e regras para edifícios. Instituto Português da Qualidade, Portugal. 2022.
- NP EN 1995-2(2022). Eurocódigo 5: Projeto de estruturas de madeira. Parte 2: Pontes. Instituto Português da Qualidade, Portugal. 2022.
- Parracha, J., Duarte, S., Faria, P., Nunes, L. (2018). A importância dos insetos de madeira seca na reabilitação de estruturas de madeira. Proceedings of “Construção 2018”. Edited by V.P. Freitas and V. Abrantes, Porto, Portugal, 21-23 November 2018. Pp. 771-780.
- Yeoh, D., Fragiocomo, M., De Franceschi, M., Boon, K.H. (2011). State of the art on timber-concrete composite structures: literature review. Journal of Structural Engineering, 137(10):1085-1095. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000353](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000353)