

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





CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA DO PALÁCIO NACIONAL DA AJUDA

Helena Cruz^a; Sónia Duarte^b; Rogério Mota^c; Marília Pereira^d; Simona Fontul^e; Luís Matias^f;
Ana Isabel Marques^g; Lina Nunes^b

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

^bsduarte@lnec.pt, ^crmota@lnec.pt, ^dmarilia@lnec.pt, ^esimona@lnec.pt, ^flmatis@lnec.pt, ^gaimarques@lnec.pt

RESUMO

A identificação, caracterização e avaliação do estado de conservação de estruturas pode revelar-se particularmente difícil no caso de estruturas antigas com interesse histórico, pelas limitações de acesso e de inspeção relacionadas com a proteção de património classificado.

Esta comunicação descreve um estudo conduzido pelo LNEC no Palácio Nacional da Ajuda, tendo em vista avaliar o estado de conservação e segurança de pavimentos de madeira, focando em particular o Toucador da Rainha e o Atelier do Rei na extremidade poente da Ala sul.

No âmbito de uma abordagem multidisciplinar, foi realizada uma extensa campanha de trabalho de campo, que envolveu: i) inspeção para deteção de problemas relacionados com degradação de madeiras; ii) reconhecimento da composição, localização e geometria de vigamentos nas diversas zonas do pavimento, com recurso a georadar; iii) sondagens pontuais para identificação da madeira e avaliação do seu estado de conservação, por amostragem; e iv) utilização de câmara termográfica para identificação de zonas húmidas no edifício, tendo em vista atuar sobre as causas das anomalias detetadas.

Os resultados obtidos confirmaram o potencial da utilização do georadar e da termografia e de uma abordagem multidisciplinar no âmbito da caracterização e do diagnóstico de estruturas em edifícios.

Palavras-chave: estrutura de madeira, diagnóstico, inspeção, georadar, termografia



1 INTRODUÇÃO

No seguimento da deteção da presença de térmitas subterrâneas em paredes e quadros do Toucador da Rainha do Palácio Nacional da Ajuda (PNA), na extremidade oeste da Ala sul, foi solicitada ao LNEC a avaliação do estado de conservação e segurança das estruturas afetadas e uma proposta de intervenção tendo em vista o controlo da praga.

As térmitas subterrâneas da espécie *Reticulitermes grassei* Clément (Blattodea, Rhinotermitidae) estão amplamente distribuídas em Portugal, ocorrendo na natureza nas raízes e cepos de árvores ou outro material lenhoso existente no solo, sempre que se verifiquem condições favoráveis ao seu desenvolvimento (especialmente um ambiente com humidade elevada). Transitam frequentemente do seu habitat natural para as construções desde que as condições em que a madeira (ou outros materiais celulósicos) esteja aplicada conduzam a um aumento anormal do seu teor de água. Os estragos que as térmitas subterrâneas causam nas madeiras vulneráveis são preocupantes, não só pelo consumo, mas também pelo facto de o ataque se processar no interior das peças, permanecendo o exterior inalterado. Todas as madeiras não tratadas nacionais usadas na construção, e em especial o pinho bravo, são suscetíveis ao ataque por *R. grassei*.

A infestação por térmitas subterrâneas tem sido registada pontualmente, desde há algumas décadas, e sido alvo de intervenções pontuais de tratamento numa tentativa de controlar as infestações. Atendendo à preocupação manifestada pelos responsáveis pelo PNA, os trabalhos da equipa do LNEC incidiram sobretudo na zona do Toucador e WC da Rainha (Piso 1), que registou a mais recente infestação, e no Atelier do Rei (Piso 3), sobrejacente à primeira, no sentido de avaliar a possível extensão dessa infestação ao Atelier, que tinha sofrido uma infiltração severa de água em 2020/21 e a alteração significativa das condições ambientais com o emparedamento das janelas a norte e poente.

Face à intensidade da infestação por térmitas subterrâneas na parede norte do Toucador da Rainha (visível no fasquiado de madeira e no revestimento de seda e outros elementos decorativos) e o abatimento observado no piso na mesma zona, foi acordada a realização de uma sondagem no soalho junto à parede, para verificar os aspetos construtivos relevantes, nomeadamente a constituição e condições de apoio desse pavimento e avaliar localmente a espécie, a qualidade e a eventual degradação biológica da madeira.

Posteriormente, foi considerada oportuna a utilização complementar de métodos não destrutivos de levantamento geométrico, baseados na utilização de georadar, para reconhecimento da localização dos elementos estruturais, fora da zona de sondagem.

Dado que a infestação de madeira por térmitas subterrâneas requer a presença de humidade, capaz de proporcionar um teor de água relativamente elevado (acima de 18-20 %) na madeira, foi igualmente decidido utilizar uma câmara termográfica para localizar zonas húmidas, potencialmente relacionadas com pontos de entrada de água no edifício.

Estes trabalhos foram enquadrados por inspeção visual, do interior do edifício, para deteção e identificação de problemas relacionados com degradação de madeiras, e das fachadas e cobertura, para reconhecimento de potenciais deficiências construtivas ou problemas de conservação, que possam justificar a ocorrência de infiltrações, tendo em vista atuar diretamente sobre as causas das anomalias detetadas.

Os trabalhos realizados no PNA foram iniciados em fevereiro de 2024, na sequência de um inverno particularmente chuvoso, para facilitar a deteção de eventuais infiltrações.



O Real Paço de Nossa Senhora da Ajuda começou a ser construído em 1796. Apesar de inúmeras tentativas, durante os séculos XIX e XX, com vários projetos de remate, só em 2016 se iniciou finalmente o projeto e as obras necessárias ao remate poente do PNA para instalação do Museu do Tesouro Real. A nova Ala do PNA foi inaugurada em junho de 2021. Sabe-se que as coberturas originais de madeira de parte da Ala sul foram reconstruídas em betão armado no âmbito das extensas obras de requalificação realizadas nos anos setenta do século XX, permanecendo com estrutura de madeira as coberturas do Piso 4 localizadas sobre o Atelier do Rei (Piso 3). Tendo em conta as imagens disponibilizadas no Google Earth Pro (consultado em maio de 2024), entre o final de 2020 e o início de 2021 decorreram obras de alteração das coberturas da extremidade poente da Ala sul, sobre as zonas que são objeto do presente estudo.

Embora não tenha havido acesso a informação sobre datas e características de intervenções anteriores nas coberturas, nas visitas realizadas pelo LNEC em 2024 verificou-se que as coberturas de toda a Ala sul são constituídas por elementos de betão armado, sobre laje de esteira em betão com vigotas e abobadilha cerâmica.

2 INSPEÇÃO VISUAL

2.1 ESTRUTURA DO PAVIMENTO

Foi aberta uma janela de inspeção no pavimento do Toucador da Rainha, através de corte pontual do soalho junto à parede interior paralela à fachada, na zona de maior abatimento do pavimento. Nesta zona, o afastamento vertical entre o rodapé e o soalho atingia cerca de 60 mm (Figura 1).



Figura 1 – Afastamento entre o pavimento e a parede interior no Toucador da Rainha (a) e sinais de infestação na parede interior norte (b)

O corte do soalho foi feito de modo a não afetar as vigas e a facilitar a reparação subsequente e minimizar o seu impacto visual. Foi também usada a abertura de ventilação da caixa de ar do pavimento, junto da fachada, para inspecionar a outra extremidade da estrutura (Figura 2). As observações efetuadas nestas duas zonas permitiram verificar que o soalho, aparentemente de madeira de casquinha, com cerca de 33 mm de espessura, assenta sobre um vigamento composto por duas ordens de vigas, de madeira maciça. As características anatómicas da madeira das vigas observadas sugerem tratar-se de pinho.

Nas zonas expostas, a 2ª ordem do vigamento, imediatamente abaixo do soalho, é constituída por vigas orientadas na direção norte-sul, com dimensões (11 x 7) cm e espaçamento entre eixos de 37 cm. A 1ª ordem de vigamento, orientada paralelamente à fachada, é constituída por vigas com a mesma secção transversal e espaçamento entre eixos de 120 cm apoiadas sobre o embasamento irregular ou em vão em alguns pontos.



A partir do orifício de ventilação, observou-se que a viga inferior, mais próxima da fachada, se encontra interrompida nessa zona, supostamente para facilitar a circulação de ar. Neste local, a base da caixa de ar (que coincide aproximadamente, com a parte inferior do orifício de ventilação) situa-se cerca de 57 cm acima da superfície da varanda adjacente.



a)



b)

Figura 2 – Estrutura do pavimento no Toucador da Rainha: a) vista a partir da janela de inspeção e b) vista a partir do orifício de ventilação na fachada

Pode igualmente observar-se o tarugamento das vigas superiores, a existência de entalhes nas ligações entre as duas ordens de vigas e a presença de cunhas de madeira sobre as vigas superiores, para nivelamento do soalho. Constatou-se também a presença de entulho diverso (pedras e pedaços de madeira) sobre o embasamento, sugerindo que o vigamento de primeira ordem terá uma base de apoio irregular. A caixa de ar tem altura muito variável, que pode atingir cerca de 50 cm em alguns pontos. Até onde foi possível observar, nas zonas de prospeção, as entregas das vigas na parede estavam secas e sem degradação significativa por fungos de podridão ou por insetos.

2.2 ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS ELEMENTOS DE MADEIRA

A avaliação do estado de conservação dos elementos de madeira foi efetuada por inspeção visual e, quando adequado, com recurso a um instrumento afiado, sendo complementada com a medição do teor de água da madeira através de um humidímetro de contacto.

O ataque por térmitas verificado na parede do Toucador da Rainha já se encontrava inativo à data das visitas (Figura 2b). Através da janela de inspeção no Toucador da Rainha, foi possível comprovar o bom estado geral das vigas de suporte do pavimento, com sinais de ataques pontuais de caruncho pequeno, e alguns fungos de podridão, mas de extensão pouco assinalável. Um dos tarugos observado demonstrou sinais de ataque severo por térmita subterrânea (Figura 3a), sem responsabilidade no desnível observado. Na zona do WC foram detetados vestígios de térmitas subterrâneas, nos rodapés e pavimento da zona noroeste, onde está instalado o sanitário e bidé. Em nenhum local se verificou teor de água dos elementos de madeira acima dos 14 %, exceto nas caixilharias das janelas a sul, que, no entanto, não exibem sinais de agentes de degradação biológica.

No Atelier, foram identificados em algumas zonas do pavimento sinais de ataque inativo por térmita subterrânea e por caruncho pequeno (Figura 3b). O teor de água das peças de madeira do pavimento oscilava entre 11 % e 14 %, sendo mais elevado na zona onde as peças estavam levantadas devido à infiltração assinalada anteriormente (15 %).



Figura 3 – Vestígios de ataques por térmitas subterrâneas: a) tarugo observado através da janela de inspeção aberta no Toucador da Rainha e b) pavimento do Atelier do Rei.

Embora a equipa do LNEC tenha desenvolvido maiores esforços de inspeção no Toucador e WC da Rainha (Piso 1) e no Atelier do Rei (Piso 3), foram igualmente avaliados outros locais, de forma a reconstituir a história recente das obras realizadas e verificar anteriores ocorrências. No decurso dessa atividade, foi detetada a presença de térmitas ativas na caixilharia de madeira de uma janela exterior do WC do Piso 4. Nas restantes zonas, não foi detetado nenhum vestígio que indicasse a presença de térmitas ativas, apesar de não ser de excluir esta possibilidade, dado o carácter críptico destes insetos.

No Atelier do Rei foram observadas marcas antigas de infiltração de água na parede este (sob a zona de transição das coberturas originais) e os resultados de uma infiltração de água, ocorrida durante a construção da fachada poente, que danificou severamente o piso decorativo em madeira (Figura 4).



Figura 4 – Parede com sinais de escorrência antigos e pavimento degradado no Atelier do Rei

2.3 ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA ENVOLVENTE

Conforme referido, as coberturas originais da Ala sul do edifício foram sucessivamente substituídas por estruturas de cobertura de betão armado, sobre lajes de esteira aligeiradas de betão com vigotas e abobadilhas cerâmicas. Admite-se que esta solução terá resolvido as entradas de água pela cobertura para os compartimentos subjacentes.

Verificou-se que a junta entre o edifício antigo e a nova Ala poente não foi concluída, permitindo a franca entrada de água entre os dois edifícios. Apesar disso, não foi detetada humidade nas paredes poente, quer no Atelier do Rei (Piso 3) quer no Toucador da Rainha (Piso 1), admitindo-se que a água infiltrada nessa junta de grandes dimensões (cerca de 12 cm de largura) seja encaminhada diretamente para os pisos inferiores. Além de persistirem diversas guardas provisórias precárias ao nível da cobertura, também as paredes do saguão partilhado pelas Alas sul e poente não foram concluídas, permitindo a infiltração de água para o interior do edifício, como é patente junto a uma janela emparedada do Atelier do Rei (Figura 5).



Figura 5 – Estado de conservação da envolvente: a) e b) junta entre a Ala poente e a Ala sul; c) paredes inacabadas no saguão poente e d) sinais de humidade na janela emparedada

3 RECONHECIMENTO DA LOCALIZAÇÃO DAS VIGAS - GEORADAR

3.1 METODOLOGIA E EQUIPAMENTO

Para identificação da localização e da orientação das vigas foi utilizado um método não destrutivo baseado em ondas eletromagnéticas. O equipamento utilizado, georadar (Ground Penetrating Radar – GPR), permite a deteção de mudanças na estrutura, até uma dada profundidade, dependendo da frequência das antenas (Fontul *et al.*, 2018). O método consiste na emissão e receção de ondas eletromagnéticas, de uma dada frequência, através do material e análise do sinal recebido. Quanto maior a frequência, maior a resolução da resposta e mais reduzida a profundidade de medição. Utilizou-se o equipamento SIR 4000, da GSSI, com antenas de frequência 1,6 GHz e de 2,6 GHz.

3.2 PROCEDIMENTO

Com o objetivo de identificar indiretamente alguma variação sob o soalho no local onde ocorreu a subsidência que pudesse explicar a sua origem, foi executado um perfil com georadar paralelamente à parede (Perfil 1, na Figura 6). Com este perfil identificou-se, desde logo, o posicionamento das vigas transversais de suporte do soalho (perpendiculares à parede em estudo). Com base neste resultado, foi escolhido o local mais adequado para a abertura de uma janela de inspeção (sondagem), sensivelmente a meio da parede, onde o sinal do georadar apontava para a presença de duas vigas com menor afastamento entre si.



Figura 6 – Toucador da Rainha. A – Representação esquemática dos perfis de georadar, orientação das vigas e localização da janela de inspeção; B - Execução de perfil de georadar paralelamente à parede objeto de estudo; C - Execução de perfil de georadar perpendicularmente à parede



A validação da existência e dimensão das vigas, para interpretação dos registos do georadar (radargramas), foi feita com base na estrutura exposta pela sondagem. Foram igualmente executados perfis perpendicularmente à parede, para identificação da localização das vigas longitudinais, procurando que ficassem alinhados ora com a posição das vigas transversais, ora entre estas. A Figura 7 apresenta, esquematicamente, os perfis executados, a orientação das vigas e a localização da janela de inspeção e alguns aspetos dos ensaios realizados.

Nos registos obtidos com o georadar foi medido o tempo de propagação, de ida e volta, da onda eletromagnética através dos vários elementos ensaiados. Para se determinar a espessura destes elementos é necessário conhecer a velocidade de propagação da onda em cada material, a qual depende, entre outros fatores, da constante dielétrica do meio, k . Segundo Davis e Annan (1989) a relação entre a velocidade de propagação no vazio, c ($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$), e no meio em estudo, v , é dada por:

$$v = \frac{c}{\sqrt{k}} \quad (1)$$

Considerando que $v=2h/t$ (sendo h o espaço percorrido pela onda entre o emissor e a interface e entre esta e o recetor, e t o tempo total deste percurso), podemos estimar a espessura de cada material atravessado pelas ondas eletromagnéticas com base na seguinte expressão, em função de k :

$$h = \frac{0,3 t}{2\sqrt{k}} \quad (2)$$

Sempre que possível, deve-se calibrar os resultados do georadar com dados de espessura medidos nos elementos ensaiados. A janela de inspeção possibilitou a medição das espessuras do soalho, das vigas transversais e longitudinais e da profundidade da caixa de ar até ao embasamento.

3.3 RESULTADOS

A Figura 7 e a Figura 8 apresentam exemplos dos resultados obtidos com o georadar no Toucador da Rainha. São apresentados três perfis, um longitudinal e dois transversais. Considerando $k=4$ na equação (2), para a constante dielétrica na madeira (Rodrigues et al. 2021), e $k=1$ para o ar, é, assim, possível estimar as espessuras do soalho e da viga superior, aos 3,6 m de distância do Perfil 1, representado através do radargrama apresentado na Figura 7, e as espessuras do soalho e do espaço de ar entre este e o embasamento no mesmo perfil, aos 3,8 m de distância (Quadro 1).

No Perfil 2, executado entre duas vigas superiores, foi possível identificar a posição das vigas longitudinais (inferiores), assim como o embasamento. No Perfil 3, executado 0,10 m ao lado, sobre uma viga superior, apenas é possível identificar a interface inferior desta viga e o embasamento. Nestes perfis a caixa de ar entre o soalho e o embasamento varia entre cerca de 32 cm e 44 cm.

Quadro 1 – Resultados obtidos, para a espessura dos materiais, no local da janela de inspeção

Elemento/Material	k	Espessura aos 3,6 m (cm)		Espessura aos 3,8 m (cm)	
		medida	estimada	medida	estimada
Soalho	4	3,3	3,2	3,3	3,2
Viga transversal /superior	4	10,7	10,6	-	-
Ar	1	20	?	32	33

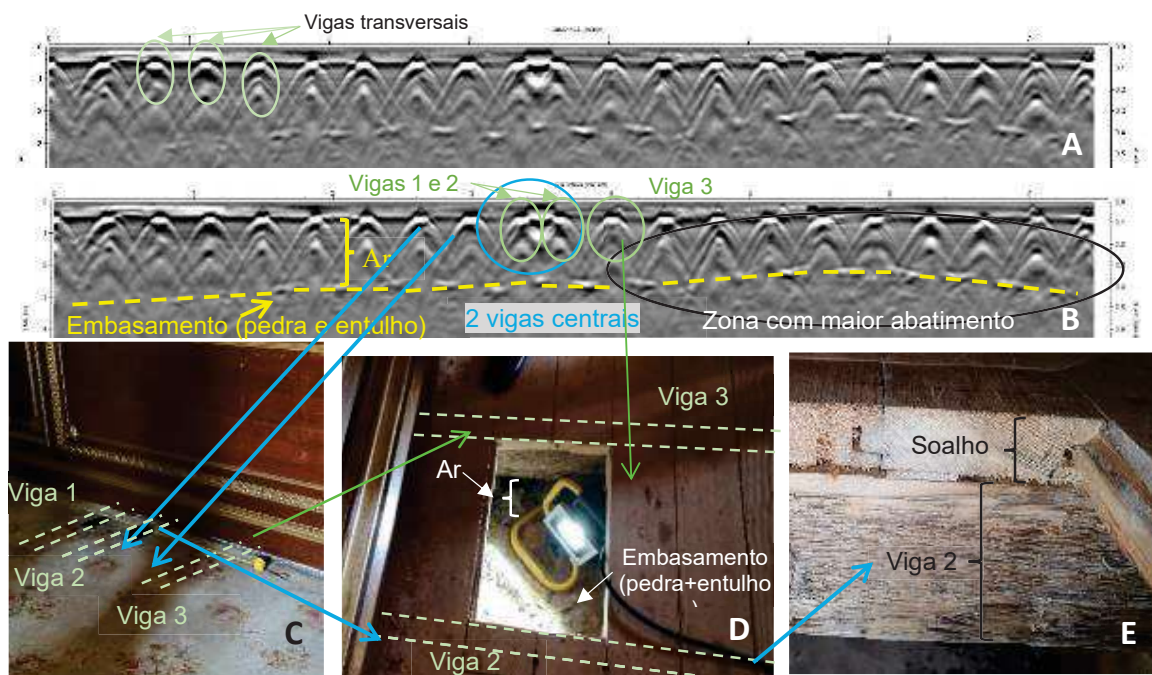
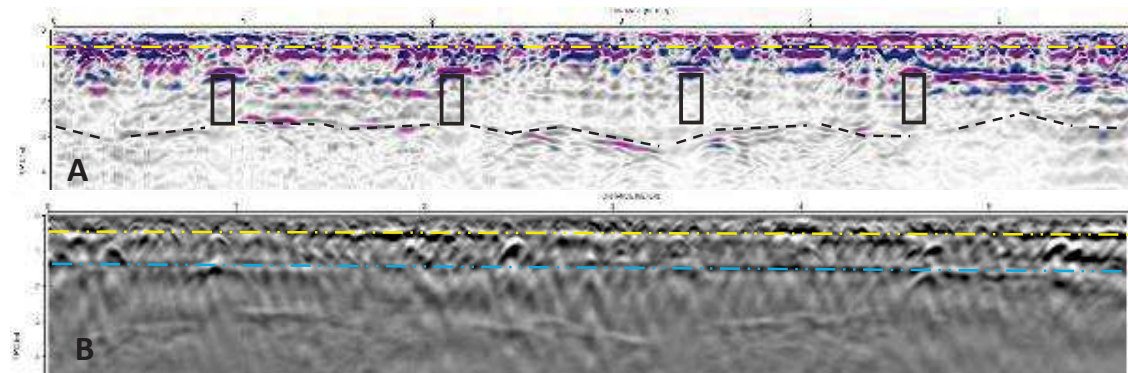


Figura 7 – Toucador da Rainha – resultados obtidos no chão, ao longo da parede. **A** – Radargrama obtido com a antena de 1,6 GHz no Perfil 1 (ver Figura 6); **B** – Radargrama com interpretação; **C** – Visualização da posição onde foram identificadas duas vigas transversais centrais (Vigas 1 e 2) com pequena separação entre si (as linhas a tracejado assinalam as posições das duas vigas e da Viga 3); **D** – Janela de inspeção, sendo visível a Viga 3; **E** – Viga 2, vista pela janela de inspeção



LEGENDA

- Viga longitudinal/inferior
- Interface ar/embasamento
- Interface soalho/viga superior
- Interface viga superior/ar



Figura 8 – Toucador da Rainha – resultados obtidos no chão, perpendicularmente à parede. **A** – Radargrama interpretativo obtido no Perfil 2, perpendicular à parede e ao Perfil 1 (ver Figura 6), com início no ponto 0,30 m do Perfil 1; **B** – Radargrama com interpretação do Perfil 3, perpendicular à parede e com início no ponto 0,40 m do Perfil 1.



Nos registos obtidos no Toucador da Rainha foi possível identificar a localização das vigas de madeira de suporte do soalho. Verifica-se que a distância entre as vigas transversais é aproximadamente constante e igual a 37 cm, e a distância entre as vigas longitudinais é de cerca de 120 cm. Detetaram-se, ainda, as interfaces entre os vários materiais, o que permitiu estimar as espessuras do soalho, da viga superior e do espaço de ar sob o soalho até ao topo do embasamento (entre as vigas de madeira).

4 DETEÇÃO DE PONTOS DE ENTRADA DE ÁGUA - TERMOGRAFIA

4.1 METODOLOGIA E EQUIPAMENTO

Para a deteção de possíveis pontos de entrada de água através da envolvente exterior do edifício, e consequente presença de humidade nos elementos constituintes, utilizou-se o método de Termografia de Infravermelhos (TIV). A TIV é uma técnica não-destrutiva que permite, através da medição da radiação térmica emitida e refletida pelas superfícies dos elementos em observação, na gama dos infravermelhos, representar a temperatura superficial desses elementos com ausência de contacto do elemento em análise (termograma). Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**9 apresenta-se a câmara termográfica utilizada no ensaio realizado no presente estudo.

A TIV é utilizada em diferentes áreas da Engenharia Civil, revelando ter potencial em estudos de avaliação da qualidade térmica de edifícios e sistemas de climatização, conservação do património histórico e inspeção da envolvente de edifícios (Lourenço, 2017).

O sucesso da aplicação da referida técnica depende da existência de fenómenos de transmissão de calor no elemento do edifício em análise, a fim de se obterem padrões térmicos que tornem possível a deteção e identificação de heterogeneidades existentes no interior desse elemento (destacamentos, vazios ou presença de humidade). No caso de presença de humidade podem-se detetar diferenças de temperatura, pelo facto de a mudança de estado correspondente à evaporação, que é acompanhada por uma absorção de calor pela humidade, provocar um arrefecimento localizado da superfície.

4.2 PROCEDIMENTO

Com o intuito de detetar possíveis infiltrações de água, utilizou-se a TIV para avaliar a presença de humidade na envolvente do edifício, nomeadamente, em paredes interiores e exteriores, no WC e no Toucador da Rainha (Piso 1) e no Atelier do Rei (Piso 3), conforme indicado na Figura 9, onde ocorreram infiltrações de água, há cerca de 3 anos e, consequentemente, o aparecimento de térmitas. Nesse sentido, foram realizadas inspeções termográficas de Infravermelhos nos referidos espaços, entre 21 de fevereiro e 20 de março, no seguimento de períodos de elevada precipitação.

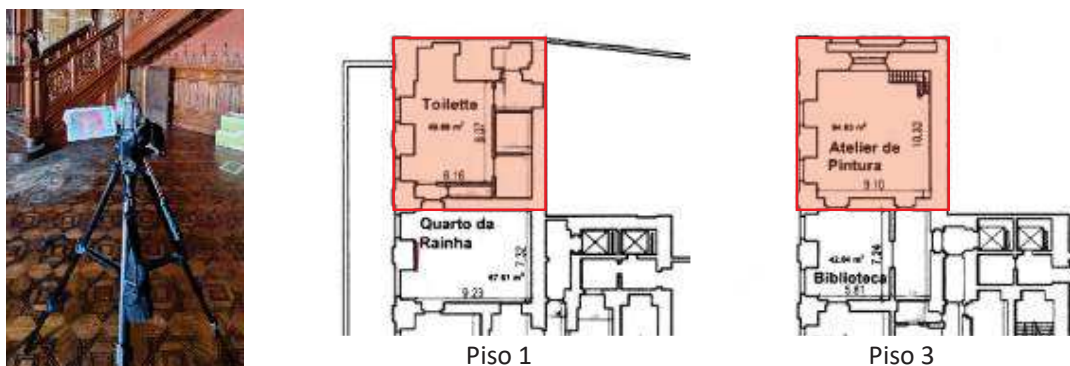


Figura 9 – Locais de medição e equipamento de termografia de infravermelhos (TIV)



4.3 RESULTADOS

Face ao exposto, apresentam-se de seguida os resultados obtidos da análise termográfica efetuada (fotografia e termograma), respetivamente, na parede adjacente à Ala poente, em ambas as salas (Figura 10), e em paredes interiores dos mesmos espaços, onde anteriormente ocorreram sinais da presença de humidade (Figura 11).

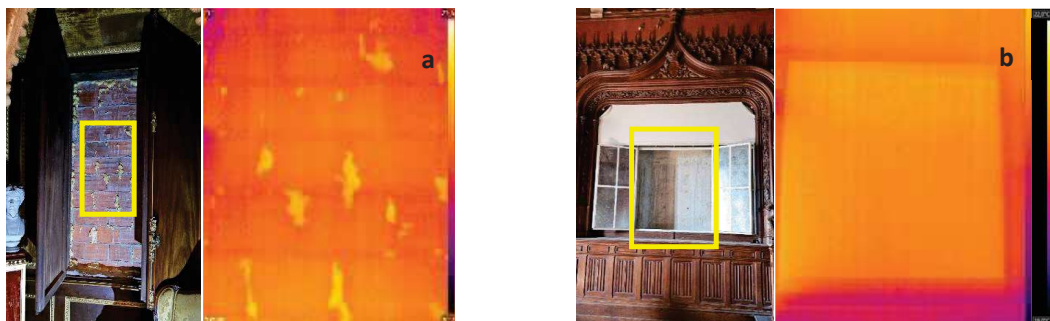


Figura 10 – Fachada em contacto com a nova ala do Palácio:
a) Toucador da Rainha (Piso 1); b) Atelier do Rei (Piso 3)

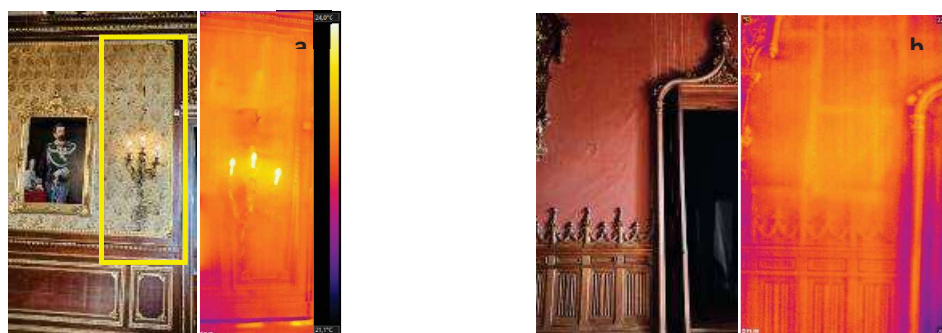


Figura 11 – Parede interior dos espaços analisados:
a) Toucador da Rainha (Piso 1); b) Atelier do Rei (Piso 3)

A análise das figuras anteriores permite concluir que, face aos diferentes padrões de temperaturas registados, não é detetável a presença de humidade nas áreas analisadas com o método termográfico. Salienta-se que este facto foi confirmado através de realização de medições pontuais com um humidímetro portátil. Registe-se ainda que na Figura 11b é possível identificar a estrutura de madeira de suporte do revestimento interior, através da utilização da termografia de infravermelhos.

5 CONCLUSÕES

Os trabalhos de campo realizados pelo LNEC no PNA, entre fevereiro e maio de 2024, e a análise da informação coligida permitiram concluir o seguinte:

- No período em apreço foram observados diversos sinais de ataque por térmitas subterrâneas, em pavimentos e caixilharia de portas e janelas do PNA, nomeadamente no Toucador da Rainha (Piso 1). Trata-se, na grande maioria dos casos, de infestações não ativas, encontrando-se a madeira seca (com valores de teor de água abaixo do limite de risco para estes insetos);
- Apenas se registou uma infestação ativa por térmitas subterrâneas na caixilharia exterior das instalações sanitárias situadas no Piso 4;



- A utilização de termografia de Infravermelhos em várias salas do PNA confirmou as medições feitas com humidímetro de contacto, no sentido de não ter sido detetada a presença de humidade nos materiais constituintes de pavimentos e paredes que sugira atualmente a existência de infiltrações de água ativas;
- Nestas circunstâncias, considera-se que as infestações registadas no Toucador e WC da Rainha (Piso 1) em 2023 resultaram de condições ambientais extremas, de carácter accidental, neste caso a infiltração de grandes quantidades de água, possivelmente relacionada com as obras do fecho da Ala poente e substituição das coberturas antigas do edifício, que potenciaram o acesso de térmitas subterrâneas residentes nas imediações;
- A observação do pavimento do Toucador da Rainha (Piso 1), que apresenta um abatimento considerável sob a parede interior (o qual atinge cerca de 60 mm na parede entre as duas portas) revelou a existência de duas ordens de vigas de madeira cruzadas, sob o soalho, a inferior com orientação este-oeste, assente sobre o embasamento irregular, e a superior com orientação norte-sul, com ligação às primeiras por entalhe e pregagem;
- A inspeção da estrutura do pavimento do Toucador da Rainha, feita a partir da janela de inspeção e a partir do orifício de ventilação na fachada, embora limitadas em termos da área observada, sugerem a inexistência de problemas estruturais ou de conservação do pavimento de madeira que justifiquem o abatimento do piso sob a parede interior;
- Desta forma, tendo em conta a irregularidade da base de assentamento das vigas inferiores e a evidência de rotação de algumas vigas superiores sobre o respetivo apoio, com arrancamento parcial dos pregos de ligação no cruzamento das vigas (junto à fachada), admite-se que o abatimento do pavimento do Toucador da Rainha (Piso 1) sob a parede interior tenha resultado do escorregamento de algumas vigas sobre os apoios, eventualmente durante um sismo ou por vibrações induzidas por obras realizadas na envolvente;
- Estando o movimento das vigas limitado pela altura da caixa de ar, e não havendo indícios de um processo de degradação biológica desta madeira em curso, considera-se que a deformação deste pavimento não configura uma situação de risco ou falta de segurança estrutural;
- A utilização de georadar provou ser uma técnica eficaz para identificação da constituição dos pavimentos, permitindo confirmar que a estrutura do pavimento do Toucador da Rainha (Piso 1) tem uma constituição relativamente uniforme e que a caixa de ar apresenta profundidade variável em todo o compartimento;
- O cruzamento da informação recolhida pela utilização do Georadar com as inspeções feitas no interior e exterior das salas do Piso 1 – ala sul permite estimar que a base de assentamento dos pavimentos dessas salas se situa sempre acima da face superior da varanda adjacente, situação favorável do ponto de vista da conservação destes pavimentos, mas que não dispensa cuidados frequentes com a limpeza e a manutenção da varanda para evitar a acumulação de água, terra e restos vegetais. Este plano de manutenção poderá incluir o refechamento das juntas das pedras de revestimento da varanda;
- Embora a substituição das coberturas no extremo oeste da Ala sul tenha reduzido significativamente as infiltrações de água para o interior do PNA nesta zona, persistem algumas situações relacionadas com a falta de conclusão dos trabalhos iniciados em 2020/2021, que importa resolver, nomeadamente o reboco das paredes do saguão junto à fachada poente e o fecho da junta entre a fachada poente e a Ala sul;



- O historial de infestações por térmitas subterrâneas no PNA nos últimos 30 anos mostra que elas estão presentes no local, manifestando-se de forma mais visível sempre que as condições ambientais o permitam. Desta forma, recomenda-se a adoção de um plano de controlo integrado de pragas, adaptado ao cariz museológico do PNA, tendo em conta o valor do seu acervo, e o frequente surgimento de problemas associados à degradação biológica de madeira do edifício (entre outros agentes de biodegradação de diversos materiais existentes nas coleções do PNA).
- Na zona do WC da Rainha (e eventualmente do Atelier do Rei) é aconselhável verificar o estado do pavimento e das vigas de suporte, e avaliar a necessidade de substituição de elementos de madeira cujo nível de ataque por térmitas seja elevado e comprometa a função estrutural. A existir substituição, deverá ser feita por madeira tratada ou naturalmente durável.
- Deve-se evitar qualquer fonte de humedificação das madeiras aplicadas, nomeadamente: i) com as caixilharias, que deverão ser melhoradas em termos da sua estanquidade, de forma a prevenir não só a entrada de água, mas também a entrada de insetos; ii) assegurar uma boa ventilação dos elementos estruturais de madeira, nomeadamente a nível das caixas de ar; iii) a interface entre o PNA e o novo edifício construído deverá ser alvo de obra que permita eliminar as entradas de água no PNA.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a autorização para divulgação do trabalho efetuado, por parte do Diretor do PNA, Dr. José Alberto Ribeiro, bem como o acompanhamento prestado pela equipa de Conservação e Restauro liderada pela Dr^a Manuela Santana.

A componente de georadar teve o apoio financeiro da FCT, através do projeto com a referência PTDC/HAR-HIS/5288/2020.

REFERÊNCIAS

- Davis, J.L., Annan, A.P. (1989). Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37:531-551. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1989.tb02221.x>
- 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, 2016.
- Fontul, S., Solla, M., Cruz, H., Machado, J. S., Pajewski, L. (2018), Ground Penetrating Radar Investigations in the Noble Hall of São Carlos Theater in Lisbon, Portugal. *Surv Geophys* (2018) 39: 1125. <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9477-z>
- Lourenço, T., Matias, L., Faria P. (2017) Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography. *Construction & Building Materials*, 148, 419-428 (September 2017). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.052>
- Rodrigues, B.P., Senalik, C.A., Wu, X, Wacker, J. (2021). Use of Ground Penetrating Radar in the Evaluation of Wood Structures: A Review. *Forests* 2021, 12, 492. <https://doi.org/10.3390/f12040492>