



O ODOR DO PINHAL COMO UM ALIADO NA MONITORIZAÇÃO DA DOENÇA DA MURCHIDÃO DO PINHEIRO

Os compostos voláteis emitidos pelo pinheiro contribuem para o aroma característico do pinhal, mas constituem também indicadores valiosos do seu estado sanitário. O diagnóstico precoce de doenças através da análise de voláteis é uma abordagem inovadora, com potencial para melhorar significativamente a gestão e proteção do pinhal português.

Jorge M.S. Faria^{1,2}, Dora M. Teixeira³, Edmundo Sousa^{1,2},
Luís Bonifácio^{1,2} e Maria L. Inácio^{1,2}

¹ Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



² GREEN-IT Bioresources for Sustainability, Instituto de
Tecnologia Química e Biológica, Universidade Nova de
Lisboa (ITQB NOVA)



³ Laboratório HERCULES - Herança Cultural, Estudos e
Salvaguarda, Universidade de Évora



As doenças da floresta têm vindo a influenciar negativamente a produção nacional, gerando impactos significativos na sustentabilidade e rentabilidade do setor florestal. A introdução em território nacional de agentes nocivos externos acarreta consequências drásticas para o equilíbrio ecológico das florestas do país, afetando não só a biodiversidade, mas também o tecido industrial que depende deste recurso natural. Um dos exemplos mais emblemáticos é o nemátode da madeira do pinheiro (NMP), detetado pela primeira vez, em 1999, na Península de Setúbal (Mota *et al.*, 1999). Após a sua deteção, este organismo de quarentena dispersou-se rapidamente pelo território, causando danos avultados. O NMP é um fitoparasita microscópico que se alimenta dos tecidos internos do pinheiro-bravo, provocando a doença da marchidão do pinheiro (DMP), i.e., o colapso do sistema vascular de árvores adultas, e a sua consequente morte, num período de apenas alguns meses. A presença do NMP no nosso país obrigou à implementação de rigorosos protocolos fitossanitários, incluindo a exigência de uma certificação obrigatória de tratamento da madeira destinada à exportação, com consequências muito severas para a indústria madeireira nacional. Além disto, as medidas de contenção e erradicação impõem regras muito restritivas, especialmente no que diz respeito ao transporte, armazenamento e eliminação de subprodutos da atividade florestal,

como a casca, os resíduos do corte, e a madeira infetada. Estas imposições, embora necessárias para controlar a propagação da doença, geram custos acrescidos para um setor já pressionado por múltiplos desafios, como a concorrência internacional ou os riscos associados às alterações climáticas. Perante este cenário, torna-se fulcral otimizar as estratégias de monitorização e resposta rápida, bem como apostar na investigação científica, visando gerar conhecimento que permita desenvolver soluções sustentáveis para proteger as florestas nacionais e assegurar a viabilidade económica das atividades associadas.

A doença da marchidão do pinheiro

A DMP afeta essencialmente pinheiros adultos, caracterizando-se por um conjunto de sintomas em que o mais notório é o rápido amarelecimento da copa das árvores, geralmente de forma uniforme (marchidão). Para além desta descoloração, observa-se o emurchecimento e a prostração das agulhas aciculares, que adquirem um aspeto seco, embora permaneçam ligadas à árvore por um longo período, após a morte. Estes sintomas são consequência direta da infeção provocada pelo NMP, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner, 1934; Nickle, 1981) (Figura 1).

O NMP é disseminado por um inseto-vetor, o longicórnio-do-pinheiro (*Monochamus galloprovincialis*), um coleóptero xilófago que, ao alimentar-se nos ramos jovens, transmite o NMP às árvores hospedeiras (Figura 1). O ciclo da infeção repete-se anualmente, com maior incidência durante a primavera e o verão, épocas de maior atividade do inseto-vetor. O NMP é originário da América do Norte, onde a sua presença não causa danos relevantes nas florestas autóctones uma vez que coevoluiu com as árvores nativas, que desenvolveram mecanismos naturais de defesa contra este fitoparasita. Contudo, a sua introdução inadvertida em ecossistemas onde as coníferas não desenvolveram resistência natural – nomeadamente, nas florestas de países asiáticos – teve efeitos catastróficos. Desde o início do século XX, o NMP proliferou rapidamente no Japão, na China e Coreia, provocando

a morte de milhões de árvores e alterando profundamente os ecossistemas florestais dessas regiões (Faria *et al.*, 2023). Mais tarde, na Europa, o NMP foi detetado em Portugal, constituindo uma grave ameaça ao património florestal nacional, fortemente dominado por povoamentos de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), espécie muito suscetível à doença. Apesar da implementação de rigorosas medidas de contenção e erradicação, como o abate e remoção de árvores infetadas, a criação de zonas tampão e o controlo de movimentação de madeira, o NMP tem continuado a expandir-se de forma preocupante em território português. Entretanto, foi também detetado na ilha da Madeira e em focos isolados em zonas fronteiriças de Espanha, levantando sérias preocupações a nível ibérico e europeu. O controlo e a monitorização desta praga exigem avultados recursos humanos, técnicos e financeiros, constituindo um desafio permanente para as entidades responsáveis pela gestão florestal. A contenção da doença implica a vigilância contínua das florestas, uma rápida deteção de novos focos de infeção para o abate e remoção imediatos e a colocação de armadilhas para a captura do inseto-vetor durante o seu período de voo, com o objetivo de minimizar os impactos ecológicos, económicos e sociais desta devastadora doença florestal.



Figura 1 – Nemátode da madeira do pinheiro, em suspensão aquosa (à esquerda), e o seu inseto-vetor, o longicórnio-do-pinheiro (à direita).

Os compostos orgânicos voláteis na floresta

De uma forma generalizada, todas as plantas, independentemente da sua espécie ou ecossistema, libertam compostos orgânicos voláteis (VOC, do inglês *volatile organic compounds*), quer como parte

do seu metabolismo normal, quer como resposta a diversos fatores ambientais. Estes fatores podem ser abióticos, como as condições climáticas (temperatura, luminosidade, humidade) e edáficas (características do solo), ou bióticos, como na atração de polinizadores, na repulsão de organismos fitófagos, ou na reação a ataques de outros agentes nocivos. Na natureza, estima-se que os VOC de origem biogénica representem aproximadamente 90% do total de compostos voláteis emitidos para a atmosfera. Estes compostos exercem um papel crucial na química atmosférica, influenciando a qualidade do ar, a formação de aerossóis orgânicos secundários e até processos relacionados com as alterações climáticas, como a formação de nuvens e a regulação térmica. As florestas, em particular, são consideradas grandes fontes naturais destes compostos, sendo responsáveis por cerca de 80% das emissões globais de terpenos, uma classe de VOC de enorme importância ecológica e atmosférica, e por aproximadamente 50% das emissões de outros compostos voláteis.

Os pinheiros destacam-se pela sua elevada produção de compostos terpénicos, que conferem ao pinhal o aroma característico que todos reconhecemos. As suas emissões voláteis são dominadas por compostos da classe dos terpenos, como os monoterpenos α -pineno, β -pineno, δ -3-careno ou limoneno, hidrocarbonetos que se libertam continuamente, mas cuja taxa de emissão pode variar ao longo do dia, com a temperatura ou em resposta a estímulos externos. Este tipo de compostos não só contribui para a interação da planta com o meio envolvente, como tem impactos diretos na formação de partículas atmosféricas e de ozono troposférico. Quando uma planta é atacada por agentes nocivos, o perfil das suas emissões voláteis pode alterar-se significativamente, quer ao nível da quantidade libertada e na proporção específica dos compostos emitidos, como na produção de novos compostos não emitidos em situações habituais. Este fenómeno constitui uma estratégia de defesa sofisticada, permitindo à planta, por exemplo, ativar mecanismos internos de resistência ou atrair os inimigos naturais dos seus agressores. Assim, o estudo dos

VOC libertados pelas plantas, e em especial pelas espécies florestais, pode tornar-se fundamental no desenvolvimento de novas estratégias de deteção precoce do NMP, e contenção da DMP.

Os compostos voláteis podem ajudar na monitorização da doença da murchidão do pinheiro

A União Europeia tem vindo a investir de forma significativa no desenvolvimento de tecnologias inovadoras para a deteção precoce de pragas e agentes patogénicos, com o objetivo de reforçar a proteção dos ecossistemas florestais e agrícolas. Um exemplo relevante desse esforço é o trabalho dedicado à caracterização das emissões voláteis de pinheiros infetados pelo NMP, visando a identificação de uma assinatura volátil específica que indique a presença deste organismo. Esta abordagem permitirá, a médio prazo, o desenvolvimento de um equipamento portátil, de fácil utilização, capaz de detetar, de forma rápida, precisa e não invasiva, o NMP em material infetado, através da análise dos compostos voláteis (Figura 2). A viabilização de uma tecnologia com estas características poderá constituir um avanço decisivo na deteção precoce e no controlo de ameaças fitossanitárias emergentes, contribuindo para impedir a introdução de novos organismos invasores e para conter a disseminação de agentes já instalados, como o NMP, em novas áreas florestais suscetíveis à doença.



Figura 2 – Equipamento para captura de voláteis constituído por seis bombas de ar construído para o projeto PurPest numa colaboração entre a empresa Flusys® e o Instituto Julius Kühn, Alemanha.



A PLATAFORMA DE COMUNICAÇÃO DOS PROFISSIONAIS DE AGRONEGÓCIOS

ASSINE A VIDA RURAL

Conteúdos exclusivos

Edição impressa e digital

App disponível em IOS ou Android

Leitura online e offline

Acesso a números antigos na App

Acesso a conteúdos premium

Organização de conteúdos por área de interesse

www.vidarural.pt

Neste contexto, destaca-se o projeto europeu PurPest (purpest.eu), uma iniciativa pioneira e multidisciplinar dedicada ao desenvolvimento de soluções sustentáveis, inovadoras e ecologicamente responsáveis para o controlo de pragas florestais e agrícolas, com especial foco em pragas emergentes, cuja proliferação representa sérios riscos ambientais, económicos e sociais (Comissão Europeia, 2023).

O PurPest integra uma ampla rede de parceiros oriundos de diversos países europeus, incluindo Portugal, Alemanha, Eslováquia, França, Itália, Lituânia, Noruega, Países Baixos, Reino Unido, República Checa e Suíça, reunindo uma equipa diversificada e altamente especializada, composta por investigadores, produtores florestais, empresas tecnológicas, associações do setor e decisores políticos. Este consórcio internacional promove uma estreita cooperação transnacional, facilitando a transferência de conhecimento técnico-científico e o desenvolvimento de soluções práticas e ajustadas às necessidades dos produtores, gestores florestais e comunidades diretamente afetadas pela pressão crescente de agentes nocivos invasores. Paralelamente, o projeto aposta fortemente no avanço tecnológico e na investigação de ponta na área dos VOC emitidos por plantas atacadas por pestes de elevada importância.

Esta linha de investigação irá impulsionar a adoção de novas estratégias de monitorização e gestão não só do NMP, mas também de outras pragas e doenças relevantes, como insetos fitófagos (por exemplo, o percevejo-castanho-marmoreado, a lagarta-do-tomate ou a lagarta-do-cartucho do milho) e ainda agentes patogénicos de grande impacto, como a *Phytophthora*, responsável por infeções devastadoras em inúmeras espécies vegetais. Ao promover a inovação e a colaboração interdisciplinar, este projeto visa reforçar a resiliência dos ecossistemas florestais e agrícolas europeus, assegurando a proteção do património natural, da biodiversidade e da economia rural, face às crescentes ameaças representadas pelas pragas e doenças invasoras. 🌱

Agradecimentos

Esta investigação foi parcialmente financiada pelos projectos NemaACT (2022.00359.CEECIND; DOI 10.54499/2022.00359.CEECIND/CP1737/CT0002) através de fundos da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), e PurPest (GA101060634; DOI 10.3030/101060634), através de fundos da Comissão Europeia.

Bibliografia

- Mota, M.; Braasch, H.; Bravo, M.A.; Penas, A.C.; Burgermeister, W.; Metge, K.; Sousa, E. (1999). First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. *Nematology*, **1**:727–734. <https://doi.org/10.1163/156854199508757>.
- Faria, J.M.S.; Cavaco, T.; Nunes, J.C.; Gonçalves, D.; Vicente, C.S.L.; Pires, D.; Bonifácio, L.; Inácio, M.L. (2023). O nemátode da madeira do pinheiro: novas abordagens de controlo e monitorização. *Vida Rural*, **1886**:60–65. <https://www.vidarural.pt/premium/o-nematode-da-madeira-do-pinheiro/>.
- Comissão Europeia. (2023). Plant pest prevention through technology-guided monitoring and site-specific control. <https://doi.org/10.3030/101060634>.