



Patricia María Rodríguez González

## **ADNET: UMA FERRAMENTA PARA A GESTÃO DA DOENÇA DO AMIEIRO EM CORREDORES RIBEIRINHOS**

O patógeno *Phytophthora xalni* é mais um dos fatores causadores do declínio do amieiro, já afetado pela ação humana, que ameaça os corredores ribeirinhos do Norte e Centro de Portugal. A ferramenta online ADnet ajuda os gestores a identificar fatores de risco e prevenir a infeção dos amieiros.

Inês Gomes Marques<sup>1,2</sup>, Teresa Soares David<sup>1,3</sup>, Pedro Segurado<sup>1</sup>, Patricia María Rodríguez González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudos Florestais, Laboratório Associado TERRA, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa



<sup>2</sup> CE3C - Centro de Ecologia, Evolução e Alterações Ambientais, Laboratório Associado CHANGE, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa



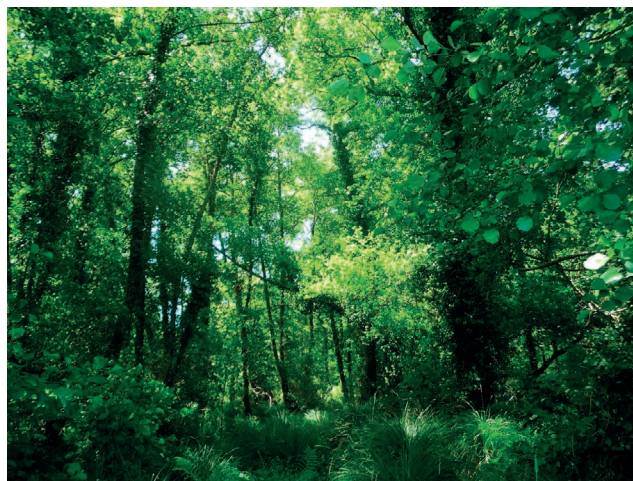
<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



## As florestas ribeirinhas e o amieiro

As florestas ribeirinhas desempenham funções ecológicas essenciais e fornecem importantes serviços de ecossistema nos *habitats* ribeirinhos, como o melhoramento da qualidade da água e fixação de azoto. Recentemente, foi descoberto que a maior parte da Península Ibérica (exceto algumas bacias do Nordeste Ibérico) e o Norte de África (Marrocos) albergam uma espécie endémica de amieiro, o *Alnus lusitanica* (amieiro-ibérico, Sanna *et al.*, 2023; Vít *et al.*, 2017).

O amieiro-ibérico domina as margens de rios e ribeiras de fluxo permanente, ou florestas pantanosas que estejam permanentemente húmidas (Rodríguez-González, 2008). É uma árvore folhosa caducifolia de crescimento rápido, de tamanho médio (normalmente cresce até 10–25 m), com uma casca rugosa e fissurada, e folhas verde-escuras com uma forma obovada (Figura 1). O amieiro-comum (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) encontra-se com o amieiro-ibérico no Nordeste da Península Ibérica, onde coexistem, mas não formam híbridos. As duas espécies diferenciam-se pela sua distribuição geográfica (amieiros-ibéricos de origem natural ocorrem apenas na Península Ibérica e Marrocos) e algumas características morfológicas, entre as quais o comprimento do pedúnculo dos amentilhos femininos (maior no amieiro-ibérico) e a forma das



**Figura 1** – Aspeto interior de amieiro palustre. Local: Correlhã, Bacia do Lima.

lenticelas dos rebentos anuais (ovais no amieiro-ibérico e redondos no amieiro-comum; Vít *et al.*, 2017). O amieiro-ibérico também apresenta características de resiliência a temperaturas elevadas quando comparado com o amieiro-comum (Gomes Marques *et al.*, 2025).

As florestas de amieiro estão incluídas como uma das prioridades de conservação na Diretiva Habitat Europeia 92/43/CEE, constituindo um *habitat* prioritário (91E0\* “Florestas aluviais com *Alnus glutinosa* e *Fraxinus excelsior*”). Em Portugal, os amieiros podem ser encontrados em conjunto com outras espécies arbóreas, como o freixo (*Fraxinus* spp.), a bétula (*Betula* spp.), o salgueiro (*Salix* spp.) e com diversas espécies herbáceas (Rodríguez González *et al.*, 2008).

## O declínio do amieiro

O declínio das florestas de amieiro, visível por toda a Europa e incluindo Portugal, põe em risco o bom funcionamento e a sobrevivência dos corredores ribeirinhos (Figura 2). O comércio cada vez mais globalizado de material vegetal para reprodução e plantação tem contribuído para a emergência de novas pragas e doenças nas florestas de amieiros, como é o caso dos patógenos do grupo *Phytophthora* spp. O principal responsável pelo recente aumento no declínio é uma doença causada pelo patógeno *P. xalni*, que se encontra atualmen-



**Figura 2** – Mortalidade de amieiros em corredor ribeirinho. Local: Bacia do Corgo, Vila Real.

te em expansão pela Península Ibérica. O patógeno *Phytophthora ×alni* foi detetado em amieiros ingleses na década de 90 do século passado (Gibbs *et al.*, 1995), tendo-se desde então espalhado até às bacias do Norte e Centro de Portugal (Kanoun-Boulé *et al.*, 2016). Tendo em conta a rápida expansão da doença e aos seus efeitos devastadores nas florestas de amieiros, tem-se verificado um crescente esforço de investigação sobre o patógeno (como se reproduz, como se espalha e como infeta a árvore) e da interação com o amieiro (Vincent *et al.*, 2025; Macháčová *et al.*, 2024), principalmente na Europa Central.

A ocorrência de temperaturas elevadas extremas, a variação no regime de precipitação e o aumento dos períodos de seca também afetam negativamente os amieiros, particularmente nas regiões do sul de Portugal, que apresentam climas mais quentes e secos durante os meses de primavera e verão. Por exemplo, a escassez na precipitação pode interromper o fluxo de água em setores a montante com bacias de drenagem mais pequenas, ameaçando a sobrevivência do amieiro. A conjugação da doença com as alterações climáticas pode tomar contornos mais complexos, resultando no aumento ou diminuição do declínio (dependendo da interação entre a doença, o clima e o patógeno).

## Como adoecem os amieiros?

Os sintomas mais comuns associados ao declínio de amieiro causado por *P. ×alni* incluem a presença de desfoliação e ramos mortos, necroses escuras na casca e folhas pequenas e amareladas (Figura 3). A *P. ×alni* consegue infetar árvores através das raízes, pelas lenticelas do tronco e pela zona do colo da árvore, propagando-se de forma ascendente pelo tronco e danificando os tecidos que fazem o transporte da seiva. As estruturas infecciosas (i.e., os zoósporos) são bastante móveis em meio aquoso pois apresentam cílios próprios para locomoção e, portanto, a água propicia a dispersão da doença de umas árvores infetadas para outras. Consequentemente, a difusão da doença ocorre normalmente na direção montante → jusante, sendo que o risco de introdução e propagação de *P. ×alni* no ecossistema ribeirinho aumenta com a:

- i) presença e/ou introdução de amieiros infetados,
- ii) proximidade a viveiros florestais com amieiros ou locais que tenham plantas no chão ou contentores, e
- iii) ocorrência de pastoreio ou áreas de lazer nas proximidades, pois poderá ocorrer o transporte accidental da doença (particularmente quando animais ou pessoas estiveram anteriormente num local com plantações de amieiros ou viveiros florestais).

A suscetibilidade do amieiro ao patógeno pode ser maior dependendo da posição da árvore no curso de água ou florestas pantanosas. Se o amieiro estiver em contacto permanente com água, particularmente durante a primavera e verão, e se a água estiver estagnada durante mais que um dia à altura da base do tronco da árvore, o amieiro terá uma maior hipótese de ser infetado e entrar em declínio (Gomes Marques *et al.*, 2024). Além disso, os extremos de temperatura podem influenciar a emergência do patógeno e a intensidade dos danos provocados. Os invernos mais quentes podem potenciar a sobrevivência de *Phytophthora* e, por isso, prolongar o período em que podem infetar as árvores e, pelo contrário, temperaturas consecutivamente inferiores a



**Figura 3** – Amieiro com sintomas de declínio: necrose no tronco (lado esquerdo); desfoliação e folhas amareladas (lado direito). Local: Lagoas de Bertandos e São Pedro d'Arcos, bacia do Lima, Ponte de Lima.

-1 °C podem levar à morte do patógeno (Redondo *et al.*, 2015). Porém, a variabilidade das árvores – tanto morfológica e fisiológica (características observadas) como genética – pode beneficiar a resiliência às doenças, se as características necessárias forem hereditárias.

### A ADnet – uma ferramenta para gerir o declínio do amieiro

Devido ao papel ecológico fundamental do amieiro no funcionamento dos rios e à crescente incidência de declínio induzido por *Phytophthora xalni*, é crucial disponibilizar ferramentas de apoio à decisão que auxiliem gestores e proprietários na prevenção das causas e mitigação dos efeitos da doença. O projeto ALNUS (<https://www.isa.ulisboa.pt/proj/alnus/pt/>) propôs-se a avaliar o estado do declínio do amieiro em Portugal continental e criar uma ferramenta de suporte que predissesse a vulnerabilidade das populações de amieiro e priorizasse as áreas a gerir. Assim, surgiu a Alder Decline Network (ADnet, Gomes Marques *et al.*, 2024) – uma ferramenta que integra informação sobre os principais fatores que afetam a sobrevivência de *P. xalni* e a sua introdução em florestas de amieiro, e prevê a probabilidade de infeção dos amieiros em ecossistemas ribeirinhos (Figura 4).

A ADnet integra informação proveniente de literatura científica, conhecimento especializado e dados recolhidos no terreno. A ferramenta foi criada entre Janeiro de 2021 e Julho de 2024, através de

**SEDE**  
SÃO JOÃO DA PESQUEIRA  
T. 254 489 150

**FILIAL**  
VILA REAL  
T. 259 342 147  
GERAL@JOPAUTO.PT  
WWW.JOPAUTO.PT

CONCESSIONÁRIO  
**NEW HOLLAND**  
AGRICULTURE

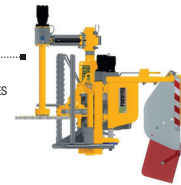


**PROVITIS**



PODADORA  
MPH 44  
COM SENSOR PARA AJUSTE  
AUTOMÁTICO DE ALTURA  
AO CORDÃO

MÁQUINA DE TIRAR VIDES  
VSE 430



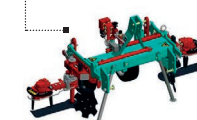
**B**  
TANDEM



ENTRECEPAS – DISCOMATIC

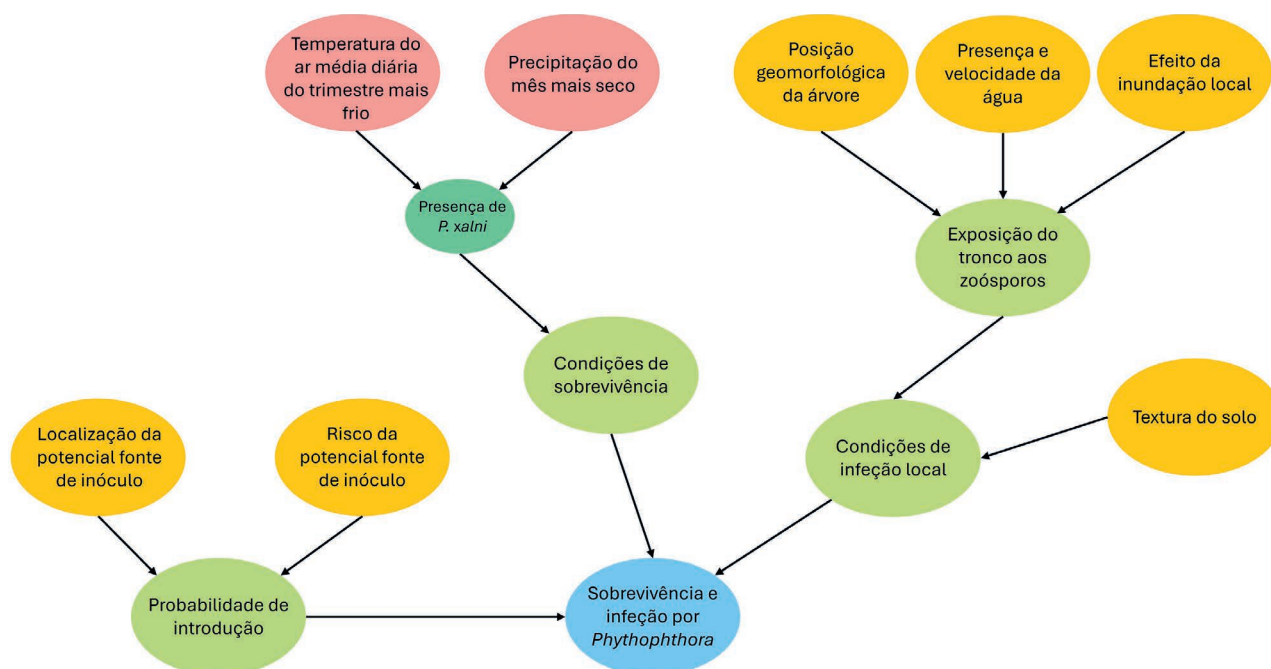
**CLEMENS**  
TECHNOLOGIES

ENTRECEPAS – RADIUS SL PLUS DUPLO



CULTIVADOR – TERACTION DUO PLUS





**Figura 4** – Rede conceitual da ADnet, com os fatores considerados para calcular a probabilidade de infecção de amieiros em ecossistemas ribeirinhos.

um processo dinâmico e interativo entre os investigadores do projeto ALNUS e o conhecimento de especialistas em ecologia e ecofisiologia do amieiro, e em *Phytophthora xalni*. O conhecimento de especialistas foi recolhido através de técnicas de elicitação (e.g. *focus groups*), tendo contado com 19 especialistas de 12 instituições e oito países diferentes. Os especialistas auxiliaram na criação de uma base de dados com informação sobre 1189 locais na Europa a partir dos quais a presença e ausência de *P. xalni* foi modelada com base em variáveis climáticas.

Resultados obtidos pela ADnet demonstram que temperaturas amenas e elevada precipitação são fatores-chave para a sobrevivência do patógeno. Períodos de cheia (i.e. períodos em que o amieiro esteja em contacto permanente com água por mais que um dia), água parada ou estagnada e solos mais argilosos aumentam também a probabilidade de incidência de doença. Devido ao contacto constante da água com o tronco e raízes (resultante da presença de água parada ou estagnada e da elevada capacidade de retenção hídrica dos solos argilosos), os zoósporos apresentam uma maior probabilidade de infecção, beneficiando da sua locomoção

na água e do prolongado tempo de contacto com o amieiro.

A ADnet permite apoiar decisões de gestão e a transferência de conhecimento na abordagem ao declínio do amieiro induzido por *P. xalni*, quer à escala local quer regional, na Europa. A implementação de ações de gestão que evitem tanto a plantação de árvores potencialmente infetadas como a remoção de estruturas de contenção de cheias em zonas afetadas pela doença poderá reduzir a incidência da doença em florestas ribeirinhas e limitar a sua expansão.

A metodologia estatística (i.e. estatística Bayesiana) utilizada para a criação da ADnet baseia-se numa abordagem em que a dedução e atualização de probabilidades é feita à medida que novas informações e dados são obtidos. Assim, a ADnet poderá ser expandida atualizando a base de dados sobre a ocorrência do patógeno, nomeadamente os seus limites de distribuição.

### Como usar a ADnet? – Um exemplo prático

Qualquer pessoa pode ter acesso à ADnet através do website do projeto ALNUS (<https://www.isa.>

## ADnet: Alder decline bayesian network

**Node types:** Equation Probabilistic - Literature and expert knowledge Probabilistic - Synthetic Mode Probabilistic - Output Mode

[Click Here for More Information](#)

**Figura 5** – A ferramenta online, no website do projeto ALNUS. Fonte: website ALNUS, <https://www.isa.ulisboa.pt/proj/alnus/pt/results/alnus-decline-net-adnet/>.

ulisboa.pt/proj/alnus/pt/results/alnus-decline-net-adnet/) e esta é apresentada na língua portuguesa e inglesa, assim como o Guia de Utilização. Para obter um valor final de probabilidade, o utilizador deverá dar informação sobre o local de estudo para o qual quer obter a probabilidade de infeção por *P. ×alni* (Figura 5). É necessária informação sobre:

- **Condições locais** (e.g., localização do local de estudo em relação às fontes potenciais de doença, localização da árvore e variáveis hidromorfológicas). Estas condições estão apresentadas a laranja na Figura 5. O utilizador deverá selecionar uma das opções automaticamente disponibilizadas pela ferramenta.
- **Condições climáticas** (precipitação e temperatura). Estes estão apresentados a rosa (Figura 5). O utilizador deverá escrever o valor (aproximado ou exato) pedido em cada condição.

Assim que a informação sobre as condições locais e climáticas for adicionada à ADnet, esta irá calcular automaticamente a probabilidade de “Sobrevivência e infeção por *Phytophthora*”.

Tomemos como exemplo um local no Centro de Portugal (por exemplo, Coimbra) que tem outras árvores infetadas a montante, apresenta um solo com uma grande proporção de argila, e em que o

**Tabela 1 – Exemplo de preenchimento da ADnet para um exemplo prático, no Centro de Portugal**

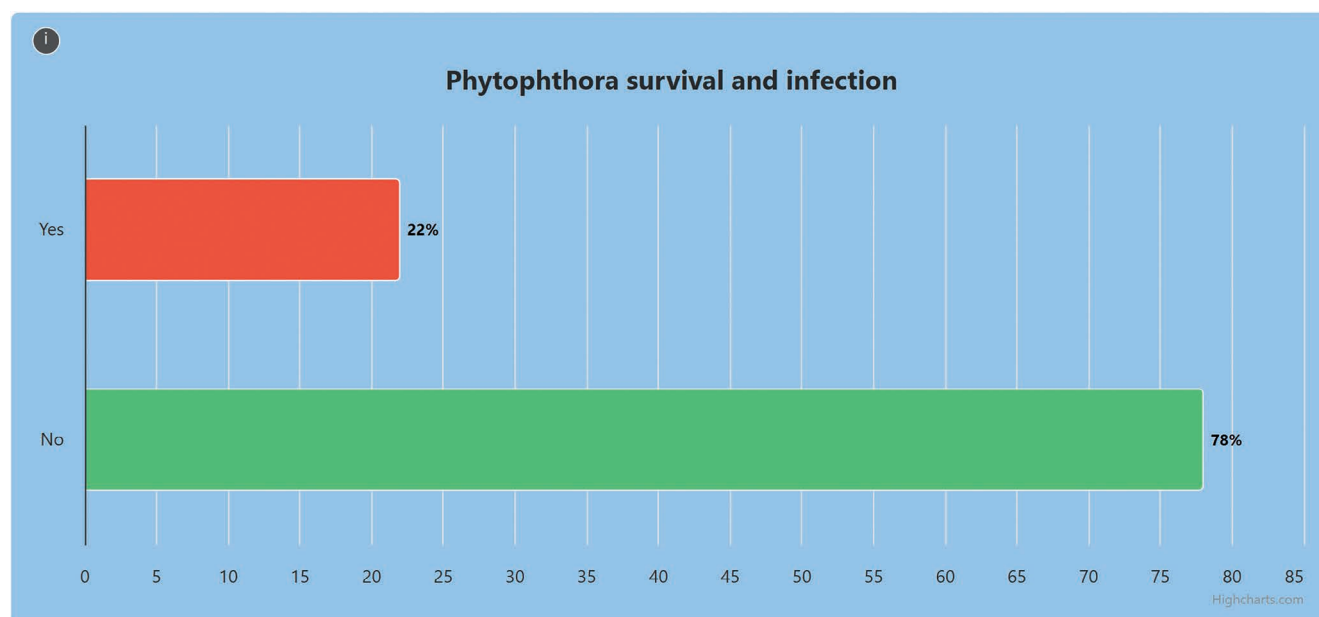
| Fator                                                 | Opção                                                    |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Localização da potencial fonte de inóculo             | Montante (“Upstream”)                                    |
| Risco da potencial fonte de inóculo                   | Elevado (“High Risk”)                                    |
| Textura do solo                                       | Franco argiloso (“Clay Loam”)                            |
| Posição geomorfológica da árvore                      | Contacto permanente com água (“Permanent water contact”) |
| Presença e velocidade da água                         | Lento (“Slow”)                                           |
| Efeito da inundação local                             | Cheia (“Flood”)                                          |
| Temperatura do ar média diária do trimestre mais frio | 8 °C                                                     |
| Precipitação do mês mais seco                         | 12 L/m <sup>2</sup> (ou mm)                              |

colo dos amieiros fica ocasionalmente submergido durante a primavera (Tabela 1). Colocaríamos, então, as seguintes opções na ferramenta:

Ao adicionarmos estes valores à ferramenta, vemos que esta indica que existe 22% de probabilidade de um amieiro neste local ser afetado pelo declínio (Figura 6). 📌

### Agradecimentos

Um agradecimento a todos os especialistas e membros do projeto ALNUS que contribuíram para a construção da



**Figura 6** – Probabilidade de infeção por *Phytophthora xalni* calculada pela ADnet para o exemplo prático deste artigo. Fonte: website ALNUS, <https://www.isa.ulisboa.pt/proj/alnus/pt/results/alnus-decline-net-adnet/>.

ferramenta. A ferramenta ADnet foi realizada no âmbito do projeto ALNUS “Avaliação da resistência de *Alnus glutinosa* ao efeito conjunto de uma doença emergente e stress climático: predição da resiliência dos bosques de amieiro nas redes hidrográficas” financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) com a referência PTDC/ASP-SIL/28593/2017. O Centro de Estudos Florestais, o Laboratório Terra, o CE3C e o Laboratório CHANGE são financiados por fundos nacionais através da FCT no âmbito dos Projeto UID/00239/2025, LA/P/0092/2020, UID/00329/2023 e LA/P/0121/2020, respectivamente. A coordenação é do ISA, sendo o INIAV.IP parceiro.

### Bibliografia

Gibbs, J.N. (1995). *Phytophthora* root disease of alder in Britain. DOI: 10.1111/j.1365-2338.1995.tb01118.x.

Gomes Marques, I. et al. (2024). The ADnet Bayesian belief network for alder decline: Integrating empirical data and expert knowledge. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173619.

Gomes Marques, I. et al. (2025). Phenotypic variation and genetic diversity in European *Alnus* species. DOI: 10.1093/forestry/cpae039.

Kanoun-Boulé, M. et al. (2016). *Phytophthora alni* and *Phytophthora lacustris* associated with common alder decline in Central Portugal. DOI: 10.1111/efp.12273.

Macháčová, M. et al. (2024). Response of *Alnus glutinosa* to *Phytophthora* bark infections at ambient and elevated CO<sub>2</sub> levels. DOI: 10.3389/ffgc.2024.1379791.

Redondo, M. et al. (2015) Winter Conditions Correlate with *Phytophthora alni* Subspecies Distribution in Southern Sweden. DOI: 10.1094/PHYTO-01-15-0020-R.

Rodríguez Gonzalez, P.M. (2008). Os bosques higrófilos ibero-atlânticos. Tese de doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa.

Rodríguez-González, P.M. et al. (2008). Spatial variation of wetland woods in the latitudinal transition to arid regions: a multiscale approach. DOI: 1111/j.1365-2699.2008.01900.x.

Sanna, M. et al. (2023). Contribución al conocimiento de la distribución de las especies de *Alnus* en el sur de Europa a partir del ADNcp. ISSN 1577-1814.

Vincent, M. et al. (2025). *Phytophthora alni* Infection Reinforces the Defense Reactions in *Alnus glutinosa*-*Frankia* Roots to the Detriment of Nodules. DOI: 10.1094/MPMI-12-24-0160-R.

Vít, P. et al. (2017). Two new polyploid species closely related to *Alnus glutinosa* in Europe and North Africa – An analysis based on morphometry, karyology, flow cytometry and microsatellites. DOI: 10.12705/663.4.