



Profundidade do Sistema Radicular e a Vulnerabilidade ao Embolismo

Palavras-Chave: Embolismo, Sistema Radicular, Membranas da Pontuação

Autores/as:

Gabriel Silva Pires, Unicamp

Dr. Luciano Pereira, Universidade de Ulm

Dr. Eduardo Caruso Machado, IAC

Prof. Dr. Rafael Vasconcelos Ribeiro (orientador), Unicamp

INTRODUÇÃO:

As raízes são as principais responsáveis pela absorção de água pelas plantas e estruturas chave para se entender a vulnerabilidade à seca. Diversos fatores presentes no ambiente podem influenciar o seu desenvolvimento e a sua arquitetura, dentre eles a disponibilidade de água e as características do solo (Hodge 2004). Devido à dificuldade em se obter a profundidade das raízes em larga escala, foi desenvolvido um modelo que permite a estimativa da profundidade das raízes em escala global (Fan *et al.*, 2017). Esse modelo considera fatores hidrológicos, como profundidade de lençóis freáticos (Fan *et al.*, 2013), dados atmosféricos, bem como o índice de área foliar e a evapotranspiração (Shuttleworth & Wallace 2007).

A diminuição da quantidade de água no solo pode induzir a formação de bolhas no xilema, interrompendo o transporte de água e prejudicando o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas. Esse fenômeno, chamado de embolismo, é uma das principais causas da mortalidade de plantas (Choat *et al.* 2018) e a compreensão de fatores que induzem ou evitam sua formação são essenciais para se compreender a vulnerabilidade de sistemas naturais e agrícolas. Apesar da segurança hidráulica ser, aparentemente, independente do ambiente (Choat *et al.* 2012), a vulnerabilidade ao embolismo está fortemente relacionada com a precipitação em escala global (Choat *et al.* 2012), e possivelmente associada à disponibilidade de água no solo. Outras características que podem influenciar a vulnerabilidade ao embolismo são a altura da planta (Liu *et al.* 2019), a densidade da madeira, assim como as variáveis que as determinam, como a proporção de fibras no parênquima e o diâmetro dos vasos (Janssen *et al.* 2020). Em especial, as membranas de pontuação possuem um importante papel no controle da vulnerabilidade ao embolismo, pois são as principais responsáveis pela passagem de água ou ar entre os vasos do xilema (Li *et al.* 2016). Diversos bancos de dados contendo atributos hidráulicos têm sido publicados (Choat *et al.* 2012; Li *et al.* 2016; Gleason *et al.* 2016; Pausas *et al.* 2016; Christoffersen *et al.* 2016; Janssen *et al.* 2020)

para analisar características ambientais ou anatômicas que pudessem explicar a vulnerabilidade ao embolismo e a distribuição das espécies em escala global. O objetivo deste estudo foi analisar esses bancos a fim de utilizar a estimativa da profundidade das raízes (Fan *et al.* 2017) e a disponibilidade hídrica (Fan *et al.* 2013) como potenciais variáveis preditoras da vulnerabilidade ao embolismo em plantas.

METODOLOGIA:

Profundidade de raiz

Foi desenvolvida uma função dentro do ambiente R para obter o resultado do modelo de profundidade do sistema radicular (Fan *et al.*, 2017) para cada coordenada obtida nos bancos de dados.

Dados anatômicos e fisiológicos

Foi utilizado como base para a construção do banco de dados o trabalho de Liu *et al.* (2019), sendo complementado com as informações divulgadas por Choat *et al.* (2012), Christoffersen *et al.* (2016), Gleason *et al.* (2016), Li *et al.* (2016) e dados sobre a vulnerabilidade ao embolismo obtidos pelo nosso grupo e ainda não publicados.

Os dados foram convertidos para o formato “csv” antes de sua manipulação no ambiente R. Foi necessário verificar as referências originais de cada observação descrita, considerando a repetição de dados entre os bancos, o que resultou em 2778 observações exclusivas, descrevendo 34 variáveis diferentes. Devido à relação existente entre a espessura das membranas de pontuação e a vulnerabilidade ao embolismo (P50), foram filtrados apenas os dados com essas informações, totalizando 91 observações, com as devidas coordenadas geográficas. Foram então selecionadas as variáveis com pelo menos 50 observações dentro deste filtro, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição das variáveis morfo-fisiológicas analisadas

Variável	Descrição	Unidade
Hact	Altura Atual	m
P50	Potencial da água no xilema quando 50% dos vasos estão embolisados	MPa
P12	Potencial da água no xilema quando 12% dos vasos estão embolisados	MPa
P88	Potencial da água no xilema quando 88% dos vasos estão embolisados	MPa
midday	Potencial da água ao meio-dia	MPa
conduit	Diâmetro médio dos conduites	m
intervessel	Fração da área de superfície dos vasos em contato com os outros vasos	%
pm	Espessura das membranas de pontuação	nm
pm_fract	Fração da ocupação das membranas de pontuação na parede do vaso	%
pm_area	Área total de cobertura das membranas de pontuação	mm ²
cell_wall	Espessura da parede celular entre os vasos	m
wd	Densidade da madeira	g cm ⁻³
root	Profundidade do sistema radicular	m

Análise dos dados
A distribuição dos dados foi analisada, obtendo-se os valores mínimos,

máximos, médios, as medianas, 1º e 3º quartis e os valores de desvio padrão para cada variável analisada. Foi utilizada a função `chart.Correlation` da biblioteca `PerformanceAnalytics` no ambiente R, resultando em uma imagem com a matriz de correlação entre as variáveis na diagonal superior

direita com os valores de correlação de Pearson e o valor de p para os pares de variáveis. Na diagonal inferior, são apresentados os gráficos de dispersão e na diagonal onde ocorre a correlação entre as mesmas variáveis há um histograma mostrando a dispersão dos dados. Todas as análises foram realizadas utilizando a linguagem de programação R (R Core Team 2021). Para a manipulação e visualização dos dados foram utilizados os pacotes, 'data.table', 'dplyr', 'ggplot2', 'ncdf4', 'PerformanceAnalytics', 'raster' e 'sf'.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Distribuição espacial das espécies e a profundidade do sistema radicular

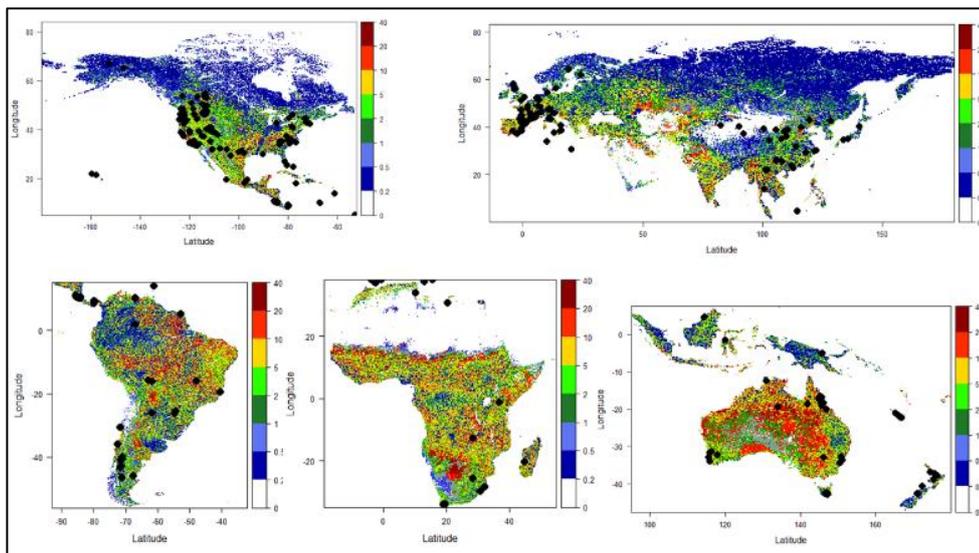


Figura 1 – Profundidade do sistema radicular (m) e a distribuição das observações obtidas pelo banco de dados. Os pontos pretos indicam a localização, quando reportada, da coleta dos dados. Na escala de cores (vermelho-verde-azul), a profundidade do sistema radicular é representada em metros.

A partir da análise da figura 1, pode-se observar que há uma maior concentração de dados para duas regiões, América do Norte e Europa, mostrando uma necessidade de que sejam realizados mais estudos nas outras regiões.

Variáveis anatômicas e morfológicas

Na tabela 2, índices descritivos das 91 amostras consideradas neste estudo são apresentadas. A análise das correlações foi realizada entre as observações que tinham valores dentro de uma faixa com 2,5 vezes o desvio padrão da variável.

Conforme apresentado na Figura 2, encontramos uma relação significativa entre a profundidade do sistema radicular gerado pelo modelo da Fan *et al.* (2017) e a fração da área de superfície dos vasos em contato com os outros vasos (intervessel) ($R^2 = 0,49$, $p = 0,003$), com a altura das plantas ($R^2 = 0,47$, $p = 0,041$) e com a área total de cobertura das membranas de pontuação ($R^2 = 0,43$, $p = 0,010$).

Houve correlações significativas entre a variável intervessel e a fração da ocupação das membranas de pontuação na parede do vaso (pm_fract) ($R^2 = 0,95$, $p < 0,001$), entre as variáveis intervessel e pm_fract ($R^2 = -0,51$, $p = 0,002$). e a espessura das membranas de pontuação ($R^2 = -0,55$, $p < 0,001$), e entre a espessura das membranas de pontuação e o P50 ($R^2 = -0,56$, $p < 0,001$).

Os resultados revelaram uma relação entre a profundidade do sistema radicular estimado pelo modelo de Fan *et al.* (2017) e a vulnerabilidade ao embolismo (P50), possivelmente mediada pelas membranas de pontuação – variável anatômica que exerce grande influência na resistência ao fluxo de água nos vasos do xilema.

Tabela 2 – Índices descritivos da distribuição das variáveis introduzidas na tabela 1

	Hact	P50	P12	P88	midday	conduit	intervessel	pm	pm_fract	pm_area	cell_wall	wd	root
Min.	1,00	-7,30	-3,67	-12,28	-6,00	8,42	0,01	60,00	0,02	0,04	2,26	0,39	0,00
1st Qu.	3,60	-4,53	-2,11	-7,36	-5,28	23,33	0,10	150,50	0,04	0,21	2,50	0,52	0,00
mediana	7,00	-2,80	-1,25	-4,08	-3,40	25,92	0,18	281,50	0,12	0,33	2,60	0,60	1,80
Média	8,72	-3,26	-1,53	-5,02	-3,66	25,76	0,20	290,66	0,12	0,35	3,11	0,58	2,01
3rd Qu.	15,00	-1,68	-0,91	-2,50	-2,51	29,19	0,30	379,00	0,18	0,43	3,87	0,65	3,87
Max.	15,00	0,58	-0,18	-1,63	-1,12	37,60	0,41	689,00	0,22	0,77	5,54	0,68	7,37
Sem valor	43	2	20	19	34	43	29	0	28	27	35	47	0
Desvio Padrão	5,39	1,81	0,96	2,84	1,56	6,76	0,12	178,24	0,07	0,21	0,99	0,10	2,26
Dados em 2,5 desvios padrões	19	60	42	43	28	19	33	62	34	35	27	15	62

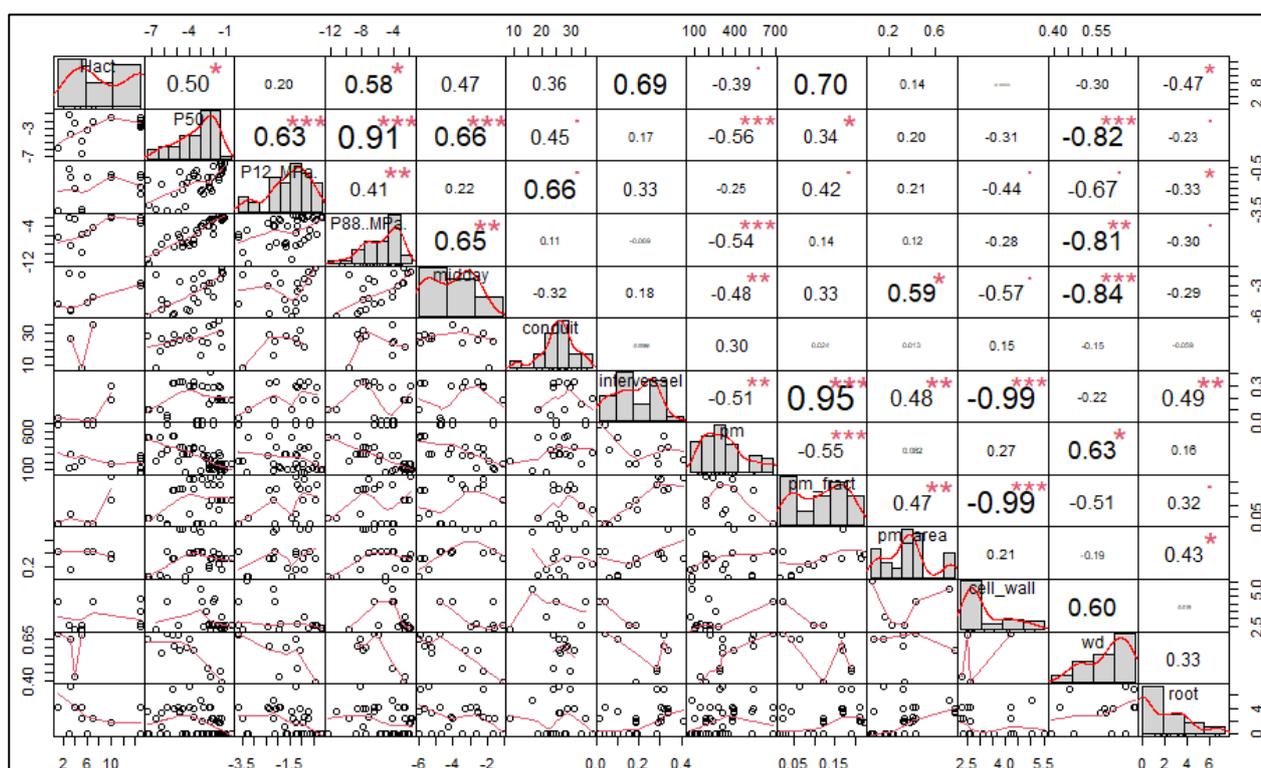


Figura 2 – Análise da correlação entre as variáveis apresentadas a partir da função chart. Correlation do pacote PerformanceAnalytics

CONCLUSÕES:

Os resultados deste estudo sugerem não apenas uma associação entre a vulnerabilidade ao embolismo e a profundidade do sistema radicular, mas também que as membranas da pontuação possuem um importante papel nesta relação. As associações estabelecidas neste estudo são

essenciais para o desenvolvimento de modelos que permitam prever a vulnerabilidade ao embolismo em espécies vegetais.

BIBLIOGRAFIA

- Choat B., Brodribb T.J., Brodersen C.R., Duursma R.A., López R. & Medlyn B.E. (2018) Triggers of tree mortality under drought. *Nature* **558**, 531–539.
- Choat B., Jansen S., Brodribb T.J., Cochard H., Delzon S., Bhaskar R., ... Zanne A.E. (2012) Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature* **491**, 752–755.
- Christoffersen B.O., Gloor M., Fauset S., Fyllas N.M., Galbraith D.R., Baker T.R., ... Meir P. (2016) Linking hydraulic traits to tropical forest function in a size-structured and trait-driven model (TFS v.1-Hydro). *Geoscientific Model Development* **9**, 4227–4255.
- Fan Y., Li H. & Miguez-Macho G. (2013) Global patterns of groundwater table depth. *Science* **339**, 940–943.
- Fan Y., Miguez-Macho G., Jobbágy E.G., Jackson R.B. & Otero-Casal C. (2017) Hydrologic regulation of plant rooting depth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **114**, 10572–10577.
- Gleason S.M., Westoby M., Jansen S., Choat B., Hacke U.G., Pratt R.B., ... Zanne A.E. (2016) Weak tradeoff between xylem safety and xylem-specific hydraulic efficiency across the world's woody plant species. *New Phytologist* **209**, 123–136.
- Hodge A. (2004) The plastic plant: Root responses to heterogeneous supplies of nutrients. *New Phytologist* **162**, 9–24.
- Janssen T.A.J., Hölttä T., Fleischer K., Naudts K. & Dolman H. (2020) Wood allocation trade-offs between fiber wall, fiber lumen, and axial parenchyma drive drought resistance in neotropical trees. *Plant Cell and Environment* **43**, 965–980.
- Li S., Lens F., Espino S., Karimi Z., Klepsch M., Schenk H.J., ... Jansen S. (2016) Intervessel pit membrane thickness as a key determinant of embolism resistance in angiosperm xylem. *IAWA Journal* **37**, 152–171.
- Liu H., Gleason S.M., Hao G., Hua L., He P., Goldstein G. & Ye Q. (2019) Hydraulic traits are coordinated with maximum plant height at the global scale. *Science Advances* **5**, eaav1332.
- Pausas J.G., Pratt R.B., Keeley J.E., Jacobsen A.L., Ramirez A.R., Vilagrosa A., ... Davis S.D. (2016) Towards understanding resprouting at the global scale. *New Phytologist* **209**, 945–954.
- R Core Team (2021) R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>.
- Shuttleworth W.J. & Wallace J.S. (2007) Evaporation from sparse crops-an energy combination theory. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **111**, 839–855.