



INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS  
FLORESTAIS

## **Duas décadas de cooperação científica CIRAD-ESALQ-IPEF**

### **Anais de Comemoração**

**Contribuição para a compreensão do funcionamento das  
plantações tropicais de rápido crescimento**

**Jean-Paul Laclau**

**José Leonardo de Moraes Gonçalves**

**José Otávio Brito**

***Ed.***

**SÉRIE TÉCNICA IPEF**

**v. 25, no. 47, dezembro de 2022**

**IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - Piracicaba, SP - Brasil**

## Capítulo 9

# Influência das variáveis ambientais e da fertilização na xilogênese e na qualidade do lenho das árvores de eucalipto

Chambi Legoas R., Chaix G., Franco Pires M.,  
Tritzl Guedes F. Sette C. Tomazello Filho M.

## INTRODUÇÃO

Grande parte das plantações florestais no Brasil localiza-se em regiões com ocorrência de déficit hídrico e que tem registrado, nas últimas décadas, um aumento na sua frequência e na expansão do seu período (Coelho et al., 2016; Nobre et al., 2016). O crescimento das árvores de eucalipto é responsivo à disponibilidade de água no solo, com as secas prolongadas impactando severamente a produtividade das plantações florestais (Gonçalves et al., 2017). Por outro lado, nas áreas com risco de seca severa, tem-se como prática comum a aplicação de fertilizantes, como o potássio (K) no manejo florestal visando o incremento da produtividade volumétrica das plantações principalmente em solos pobres de nutrientes (Laclau et al., 2009).

Assim, com a finalidade de estudar a interação do K e déficit hídrico em árvores de *Eucalyptus grandis* a parceria CIRAD-LCF/ESALQ/USP instalou dois experimentos de fertilização com K e Na (Na – como potencial nutriente substituto do K). O primeiro experimento foi instalado em 2004 com tratamentos controle, com adição de K e de Na (Almeida et al., 2010); o segundo, foi instalado em 2010, com tratamento de exclusão de 37% da precipitação (com cobertura do solo com lençol de polipropileno) nas parcelas controle, com adição de K e de Na (Battie-Laclau et al., 2014). Os resultados inéditos obtidos nos experimentos destacam a importância do K na eficiência uso da água, nos mecanismos de adaptação à seca e com reflexo no crescimento das árvores de eucalipto e na produtividade florestal (Asensio et al., 2020; Battie-Laclau et al., 2016, 2014; Christina et al., 2018; Guillemot et al., 2021; Laclau et al., 2009), além da constatação da aplicação potencial do Na como substituto do K (Almeida et al., 2010).

Embora a produtividade florestal seja, principalmente, relacionada com o crescimento volumétrico das árvores é, também, necessário avaliar os parâmetros de qualidade do lenho do tronco pela relação com as propriedades da madeira e dos seus produtos finais. Como o crescimento em diâmetro do tronco das árvores (crescimento 2ário) está relacionado com a atividade/sazonalidade do meristema cambial (câmbio) e que sofre influência das variáveis climáticas, da fertilização mineral, etc. Por sua vez, as alterações da atividade cambial resultam em modificações nas características anatômicas e nas propriedades químicas e físico-mecânicas do lenho do tronco das árvores afetando a qualidade e o rendimento da madeira e as suas aplicações industriais.

Pelo exposto, as árvores de eucaliptos dos experimentos indicados foram analisadas, visando o conhecimento da influência da exclusão parcial da precipitação pluviométrica,

da intensidade dos períodos secos-chuvosos, do estresse hídrico e da interação com a fertilização na formação, plasticidade e parâmetros de qualidade do lenho, em uma rotação completa das plantações de eucalipto.

## MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO LENHO DAS ÁRVORES DE EUCALIPTO

Na avaliação da variação intra e interanual das características do lenho do tronco das árvores de eucalipto foram analisados os parâmetros de qualidade do lenho do tronco das árvores de eucalipto por um período contínuo de 6 anos. Da mesma forma, foi realizada a avaliação dos parâmetros anatômicos e físico do lenho do tronco das árvores de eucalipto, com o crescimento monitorado por fitas dendrométricas de aço. Foram aplicadas técnicas histológicas, possibilitando a avaliação dos parâmetros anatômicos do lenho – processo de corte histológico e de maceração do lenho para a avaliação das dimensões e frequência das fibras e dos vasos. Também, foi aplicada a metodologia de densitometria de raios X, possibilitando a construção dos perfis radiais de microdensidade do lenho, como parâmetro físico. A delimitação dos anéis de crescimento anuais na seção transversal do lenho do tronco das árvores foi realizada pela anatomia do lenho, perfil de microdensidade e valores de incremento contínuo do diâmetro do tronco, obtidos pelos dendrômetros de aço.

## RESULTADOS

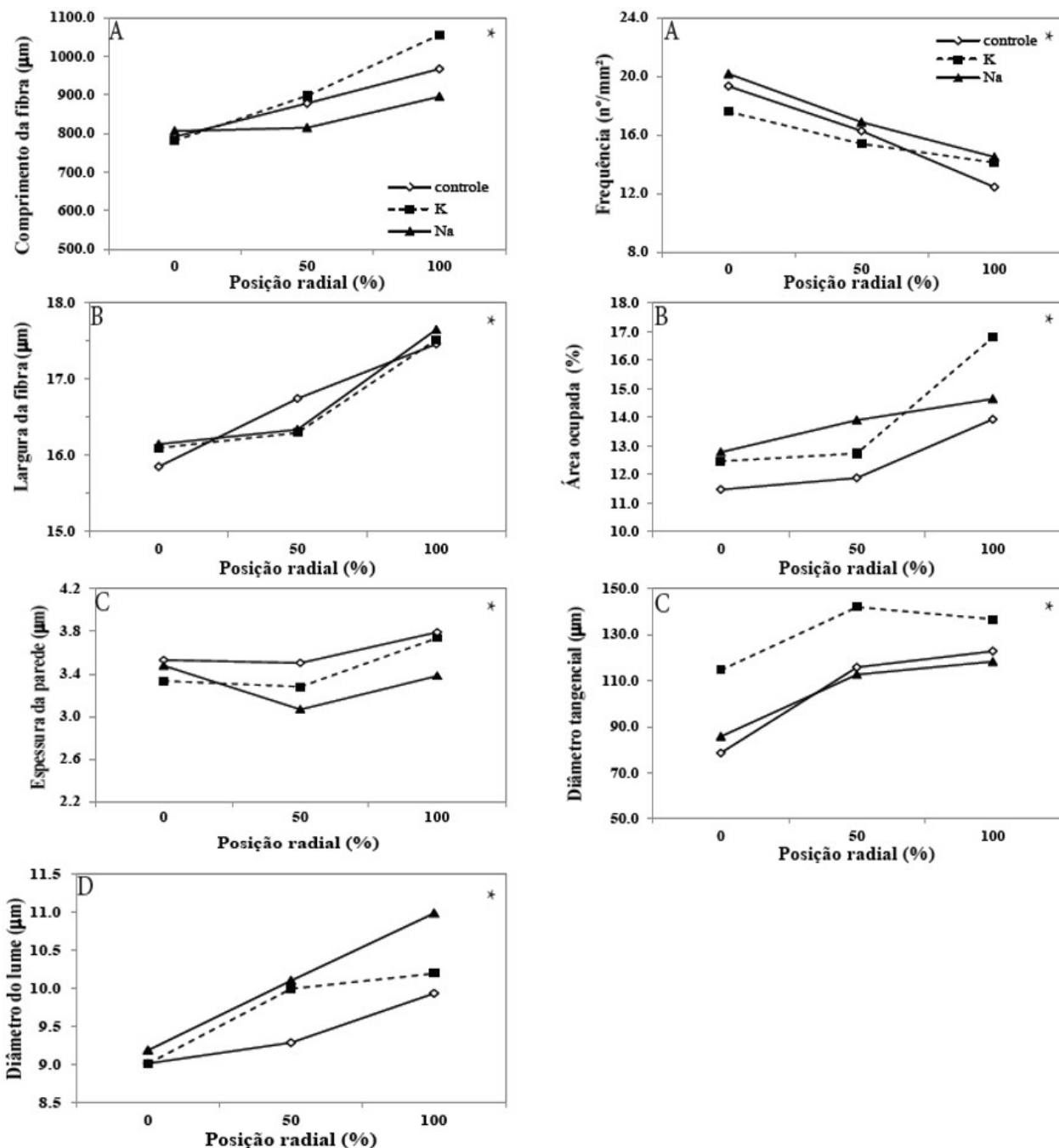
No experimento das árvores de eucalipto de 4 anos fertilizadas com K ou Na verificou-se que não houve variação significativa na densidade do lenho do tronco. Em relação às características anatômicas do lenho, observou-se que a adição de Na promoveu a formação de fibras de parede celular menos espessa e de maior diâmetro do lume; com o K propiciando o aumento do diâmetro do lume dos vasos (Figura 1).

Por outro lado, no experimento de disponibilidade hídrica (37% de precipitação hídrica) e de fertilização as árvores de eucalipto de 6 anos apresentaram um significativo incremento na densidade do lenho com fertilização de Na, não com K. A relação albarno/cerne (xilema funcional/não funcional) não mostrou efeito significativo em relação aos tratamentos de exclusão/disponibilidade hídrica.

Nas árvores de eucalipto do 2º experimento, os tratamentos de fertilização com K e Na resultaram na significativa diminuição da densidade do lenho, sendo maior com a aplicação do Na (Figura 2A). Ainda, a relação albarno/cerne (xilema funcional/não funcional) foi menor no lenho das árvores de eucalipto fertilizadas com K e Na em relação às do tratamento controle (Figura 2B); maior proporção do cerne no lenho das árvores fertilizadas com o K em comparação com o Na, sendo relacionada com a maior taxa de crescimento do tronco das árvores de eucalipto em resposta à fertilização química.

Importantes resultados foram obtidos na análise da estrutura anatômica do lenho verificando-se que a menor disponibilidade hídrica não alterou as dimensões das fibras e dos vasos, característicos do sistema de sustentação e hídrico do tronco das árvores de eucalipto. Também, não se observou uma interação significativa entre a disponibilidade hídrica e a fertilização mineral, com o K induzindo aumento significativo do comprimento das fibras independente da disponibilidade hídrica (Figura 3A); a largura e a espessura da parede das fibras não foram afetadas pela fertilização do K e Na (Figuras 3B, C). Quanto ao sistema vascular, a fertilização com K induziu significativo aumento no diâmetro e diminuição da frequência dos vasos do lenho do tronco das árvores de eucalipto nos 6 anos, com o Na evidenciando efeito intermediário (Figuras 3D, 3E).

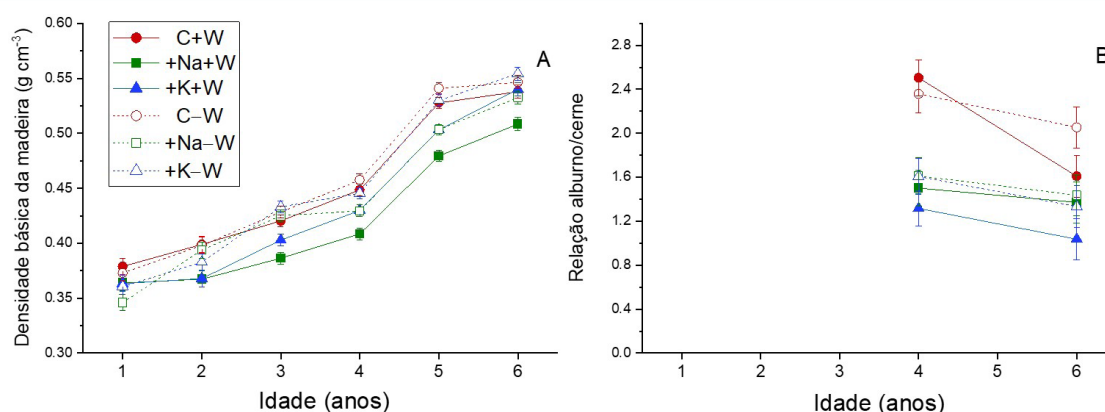
As características anatômicas do lenho do tronco das árvores de eucalipto, ao longo do processo de xilogênese de 6 anos, indicaram o efeito das variações climáticas (alternância de



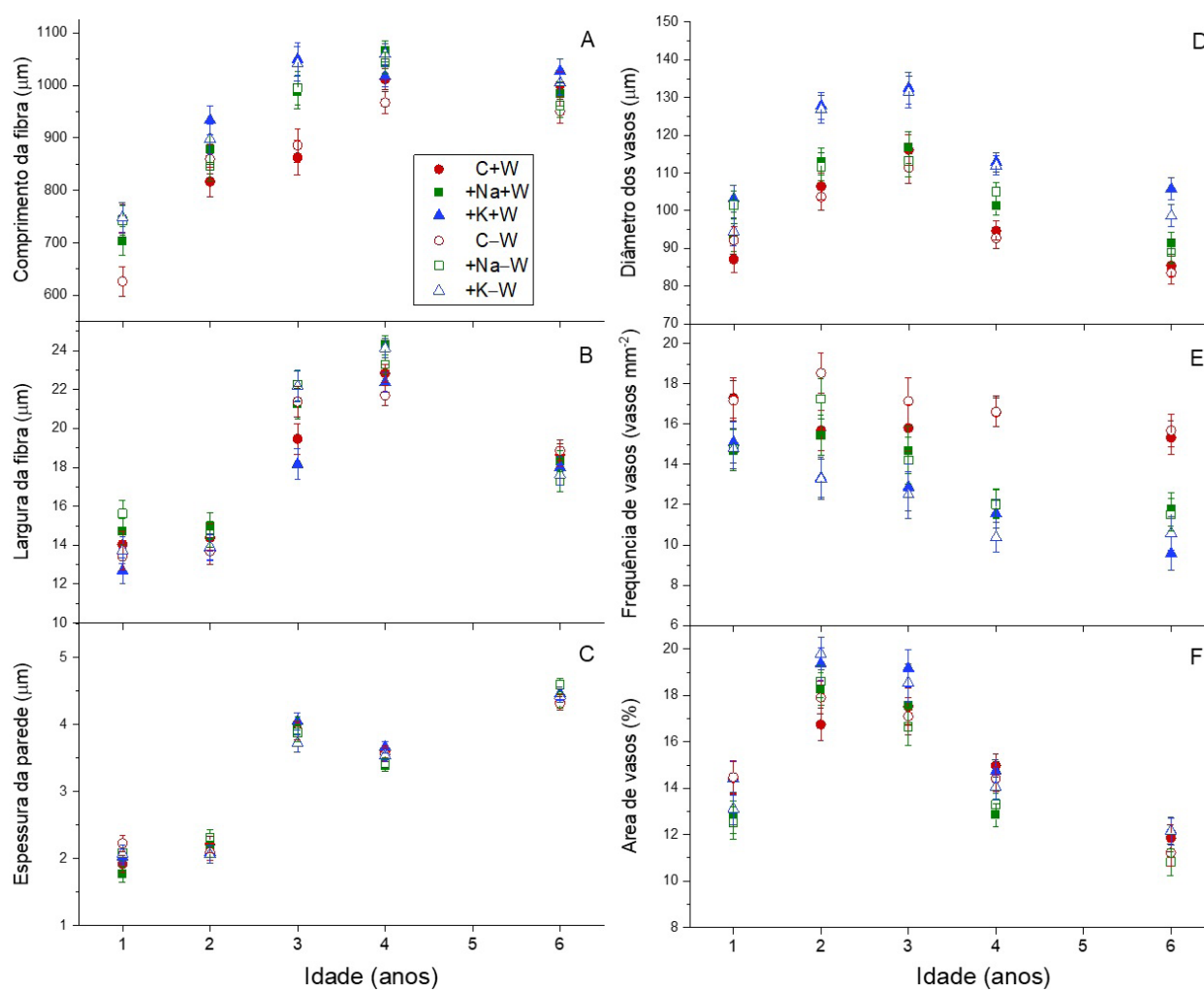
**Figura 1.** Características anatômicas do lenho de árvores de *E. grandis*, de 4 anos - em 3 posições radiais (0, 50 e 100%) – fertilizadas com K, Na e controle (fonte: Sette Jr et al., 2014).

períodos secos e chuvosos) na sazonalidade da atividade cambial (Figura 4). O registro no lenho das árvores de eucalipto em resposta aos períodos de estresse hídrico extremo, como o do ano de 2014, confirma a plasticidade genética da espécie, sendo maior nas árvores fertilizadas com K.

A análise da estrutura anatômica do lenho das árvores de eucalipto mostrou uma resposta ao estresse hídrico extremo, evidentes nas árvores fertilizadas com K caracterizadas pela

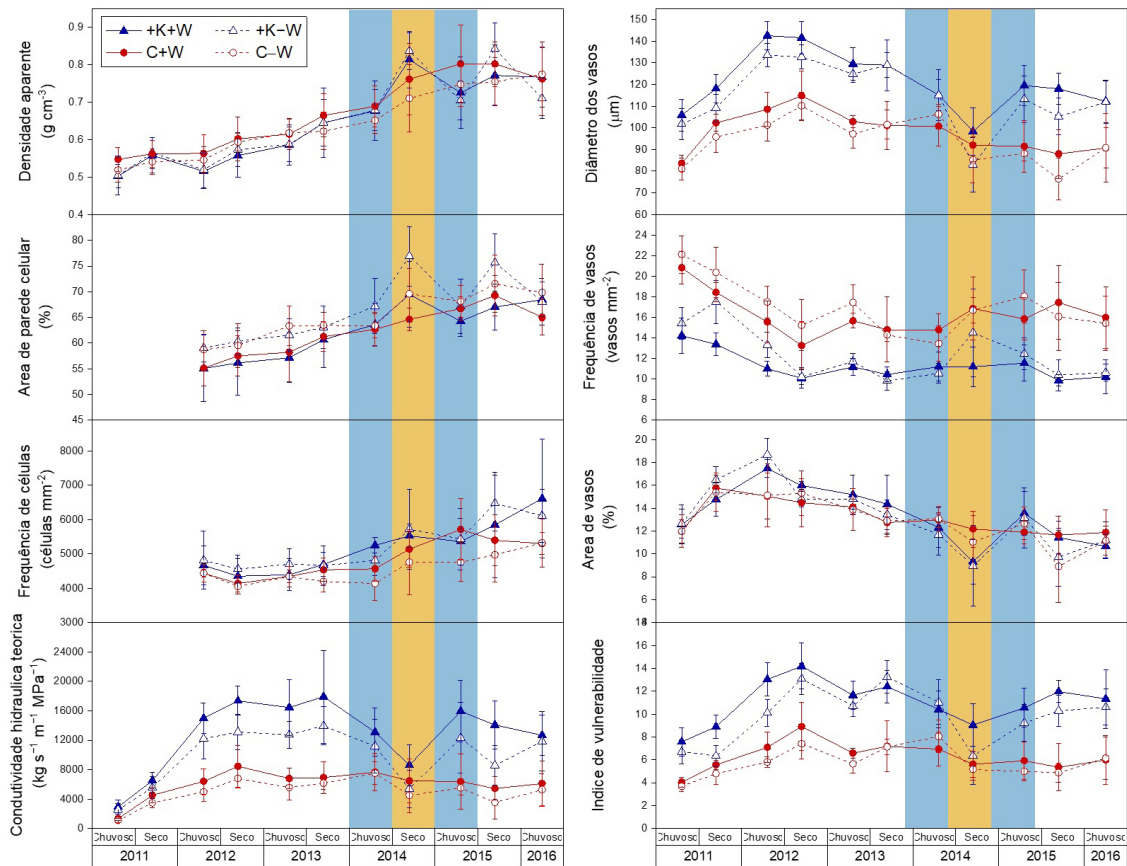


**Figura 2.** Densidade básica do lenho (A) e relação alburno/cerne (B) das árvores de *E. grandis*, de 6 anos - fertilizadas (+K: adição de potássio, +Na: adição de sódio, e C: controle) e disponibilidade hídrica (+W: 100% das chuvas, e -W: exclusão 37% das chuvas) (fonte: Chambi-Legoas et al., 2021).



**Figura 3.** Características anatômicas do lenho de *E. grandis*, 6 anos - dimensões das fibras (A, B, C) e dos vasos (D, E, F), fertilizadas (+K: adição de potássio, +Na: adição de sódio e C: controle) e disponibilidade hídrica (+W: 100% das chuvas, e -W: exclusão 37% das chuvas) (fonte: Chambi-Legoas et al., 2021).





**Figura 4.** Características do lenho de *E. grandis*, 6 anos - fertilizadas (+K: adição de potássio, e C: controle) e disponibilidade hídrica (+W: 100% das chuvas, e -W: exclusão 37% das chuvas) considerando as estações chuvosas (out-março- faixa vertical azul) e secas (abril-set- faixas vertical marrom) (fonte: Chambi-Lagoas et al., 2022).

formação do lenho com maior frequência de células e de maior área de parede celular, resultando em aumento da densidade do lenho; esse resultado foi menos marcante no lenho do tronco das árvores com deficiência de K. A expressão fenotípica do lenho do tronco das árvores de eucalipto, em resposta ao extremo estresse hídrico, é marcante quando analisado a sua estrutura hidráulica ou vascular (transporte ascendente de seiva mineral): a fertilização com K promoveu uma significativa diminuição da condutividade hidráulica do lenho, como mecanismo de adaptação à seca, expressa pelo menor diâmetro e maior frequência dos vasos. Em contraste, as árvores de eucalipto do tratamento controle apresentaram alteração das dimensões dos vasos na estrutura anatômica do seu lenho (Figura 4).

## CONCLUSÕES

As árvores de *E. grandis*, de plantações experimentais instaladas na Estação Florestal Experimental de Itatinga, resultado da cooperação científica entre o CIRAD-IPEF e o LCF/ESALQ/USP, propiciaram o entendimento do efeito das condições climáticas e da fertilização na formação e na qualidade do lenho do tronco, visando a utilização da madeira, principalmente, para a produção de celulose e papel. Os resultados dos experimentos indicaram que a fertilização com K não afeta a qualidade do lenho mesmo em condições de estresse hídrico. A substituição do K pelo Na não apresentou melhora no principal parâmetro físico do lenho – a sua densidade. A exclusão de 37% da precipitação pluviométrica, considerada de moderado efeito, não evidenciou alterações nas características anatômicas

do lenho, relacionadas com as fibras e os vasos e, assim, com a qualidade do lenho. Outro resultado importante verificado foi o incremento da plasticidade fenotípica do lenho do tronco das árvores de eucalipto com fertilização com K, regulando especificamente a sua condutividade hidráulica em períodos de forte estresse hídrico. Os experimentos de exclusão de precipitação hídrica mostram-se eficientes na simulação do estresse hídrico e a avaliação da resposta do crescimento e das características e propriedades do lenho das árvores de eucalipto, principalmente no contexto das mudanças climáticas globais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, J.C.R., Laclau, J.P., Gonçalves, J.L. de M., Ranger, J., Saint-André, L., 2010. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. *For. Ecol. Manage.* 259, 1786–1795. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.032>
- Asensio, V., Domec, J.C., Nouvellon, Y., Laclau, J.P., Bouillet, J.P., Jordan-Meille, L., Lavres, J., Rojas, J.D., Guillemot, J., Abreu-Junior, C.H., 2020. Potassium fertilization increases hydraulic redistribution and water use efficiency for stemwood production in *Eucalyptus grandis* plantations. *Environ. Exp. Bot.* 176, 104085. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104085>
- Battie-Laclau, P., Delgado-Rojas, J.S., Christina, M., Nouvellon, Y., Bouillet, J.-P., Piccolo, M. de C., Moreira, M.Z., Gonçalves, J.L. de M., Rouspard, O., Laclau, J.-P., 2016. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. *For. Ecol. Manage.* 364, 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.004>
- Battie-Laclau, P., Laclau, J.P., Domec, J.C., Christina, M., Bouillet, J.P., de Cassia Piccolo, M., de Moraes Gonçalves, J.L., Moreira, R.M., Krusche, A.V., Bouvet, J.M., Nouvellon, Y., 2014. Effects of potassium and sodium supply on drought-adaptive mechanisms in *Eucalyptus grandis* plantations. *New Phytol.* 203, 401–413. <https://doi.org/10.1111/nph.12810>
- Chambi-Legoas, R., Chaix, G., Castro, V.R., Franco, M.P., Tomazello-Filho, M., 2021. Inter-annual effects of potassium/sodium fertilization and water deficit on wood quality of *Eucalyptus grandis* trees over a full rotation. *For. Ecol. Manage.* 496, 119415. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119415>
- Chambi-Legoas, R., Tomazello-Filho, M., Laclau, J.-P., Chaix, G., 2022. Potassium fertilization enhances xylem plasticity and growth recovery of *Eucalyptus grandis* trees in response to drastic changes in water availability. [Unpublished manuscript].
- Christina, M., le Maire, G., Nouvellon, Y., Vezy, R., Bordon, B., Battie-Laclau, P., Gonçalves, J.L.M., Delgado-Rojas, J.S., Bouillet, J.P., Laclau, J.P., 2018. Simulating the effects of different potassium and water supply regimes on soil water content and water table depth over a rotation of a tropical *Eucalyptus grandis* plantation. *For. Ecol. Manage.* 418, 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.048>
- Coelho, C.A.S., de Oliveira, C.P., Ambrizzi, T., Reboita, M.S., Carpenedo, C.B., Campos, J.L.P.S., Tomaziello, A.C.N., Pampuch, L.A., Custódio, M. de S., Dutra, L.M.M., Da Rocha, R.P., Rehbein, A., 2016. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Clim. Dyn.* 46, 3737–3752. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>
- Gonçalves, J.L.M., Alvares, C.A., Rocha, J.H.T., Brandani, C.B., Hakamada, R., 2017. Eucalypt plantation management in regions with water stress. *South. For.* 79, 169–183. <https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1255415>
- Guillemot, J., Asensio, V., Bordon, B., Nouvellon, Y., le Maire, G., Bouillet, J.P., Domec, J.C., Delgado Rojas, J.S., Abreu-Junior, C.H., Battie-Laclau, P., Cornut, I., Germon, A., De Moraes Gonçalves, J.L., Robin, A., Laclau, J.P., 2021. Increased hydraulic constraints in *Eucalyptus* plantations fertilized with potassium. *Plant Cell Environ.* 44, 2938–2950. <https://doi.org/10.1111/pce.14102>
- Laclau, J.P., Almeida, J.C.R., Gonçalves, J.L.M., Saint-André, L., Ventura, M., Ranger, J., Moreira, R.M., Nouvellon, Y., 2009. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. *Tree Physiol.* 29, 111–124. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn010>
- Nobre, C.A., Marengo, J.A., Seluchi, M.E., Cuatras, A., Alves, L.M., 2016. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015 Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *J. of Water Resour. Prot.* 8, 252–262. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>
- Sette Jr, C.R., Deus Jr, J.C. De, Tomazello Filho, M., Pádua, F.A. De, Calil, F.N., Laclau, J.P., 2014. Alterações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação mineral. *Rev. Cern.* 20, 251–258. <https://doi.org/10.1590/01047760.201420021499>