ISSN 2764-3808
V. 25, Nº 47 | DEZEMBRO 2022

SÉRIE TÉCNICA IPEF

Duas décadas de cooperação científica CIRAD-ESALQ-IPEF

Anais de comemoração

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

Jean-Paul Laclau
José Leonardo de Moraes Gonçalves
José Otávio Brito

IPEF
INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 1 04/05/2023 17:18:49

Série Técnica IPEF
n. 47, p. 8-13, Dezembro de 2022

Capítulo 2
Interações entre a nutrição das árvores e o estresse hídrico nas plantações de eucaliptos

Laclau J-P, Gonçalves JLM, Christina M., Guillemot J, le Maire G, Moreira R, Nouvellon Y, Bouillet J-P

INTRODUÇÃO

As empresas florestais brasileiras têm ampla experiência da resposta dos eucaliptos aos aportes de fertilizantes através de numerosas experiências em múltiplos locais (em particular no âmbito do programa PTSM do IPEF), mas também através da observação do comportamento das árvores em uma ampla gama de solos em plantações comerciais. O trabalho da CIRAD tem se concentrado em certos processos ecofisiológicos pouco conhecidos que podem explicar a resposta das árvores em diferentes contextos de solo e clima.

As relações entre a nutrição em potássio das árvores e seu funcionamento hídrico foram intensamente estudadas pela combinação de diferentes abordagens (experimentação, modelagem, genômica) que proporcionaram resultados muito consistentes. Estes resultados são importantes num contexto de mudança climática onde a fertilização das árvores pode ser uma alavanca importante para melhorar a adaptação a secas mais frequentes e intensas.

INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO COM NITROGÊNIO (N) E POTÁSSIO (K) SOBRE O PRAZO DE VIDA DAS FOLHAS: CONSEQUÊNCIAS NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Inventários sucessivos, amostragem destrutiva de árvores e coleta de folhedo tornaram possível avaliar o efeito da fertilização com N e K sobre a dinâmica do acúmulo de biomassa em componentes de árvores acima do solo (Laclau et al., 2019).

Enquanto os efeitos da fertilização com N sobre o crescimento das árvores só ocorreram nos primeiros 24 meses após o plantio, a fertilização com K multiplicou por 2 a produção primária líquida acima do solo durante os primeiros 36 meses após o plantio (Figura 1).

A vida média das folhas não foi modificada pela adição de N, mas aumentou de 111 para 149 dias com a fertilização com K. O pico de produção de folhas ocorreu no segundo ano após o plantio (cerca de 8 t ha-1 ano-1) e não foi modificado significativamente pela fertilização N ou K. Embora a deficiência de K não afetasse a produção total de folhas, muitas folhas caíram rapidamente, resultando em baixa biomassa foliar em árvores em pé. A adição de K aumentou significativamente a biomassa das folhas nas árvores em pé, principalmente como consequência do aumento do prazo de vida das folhas.

A fertilização com potássio aumentou a biomassa total acima do solo principalmente através do aumento do índice de área foliar. Esses estudos mostraram uma forte adaptação da vida foliar do eucalipto em resposta à deficiência nutricional, com importantes conseqüências na captação de luz e alocação de carbono entre os órgãos das árvores (Laclau et al., 2019; Epron et al., 2020). Um melhor entendimento dos processos fisiológicos que regem a vida das folhas é necessário para melhorar os modelos baseados em processos atualmente utilizados nas plantações de eucaliptos.

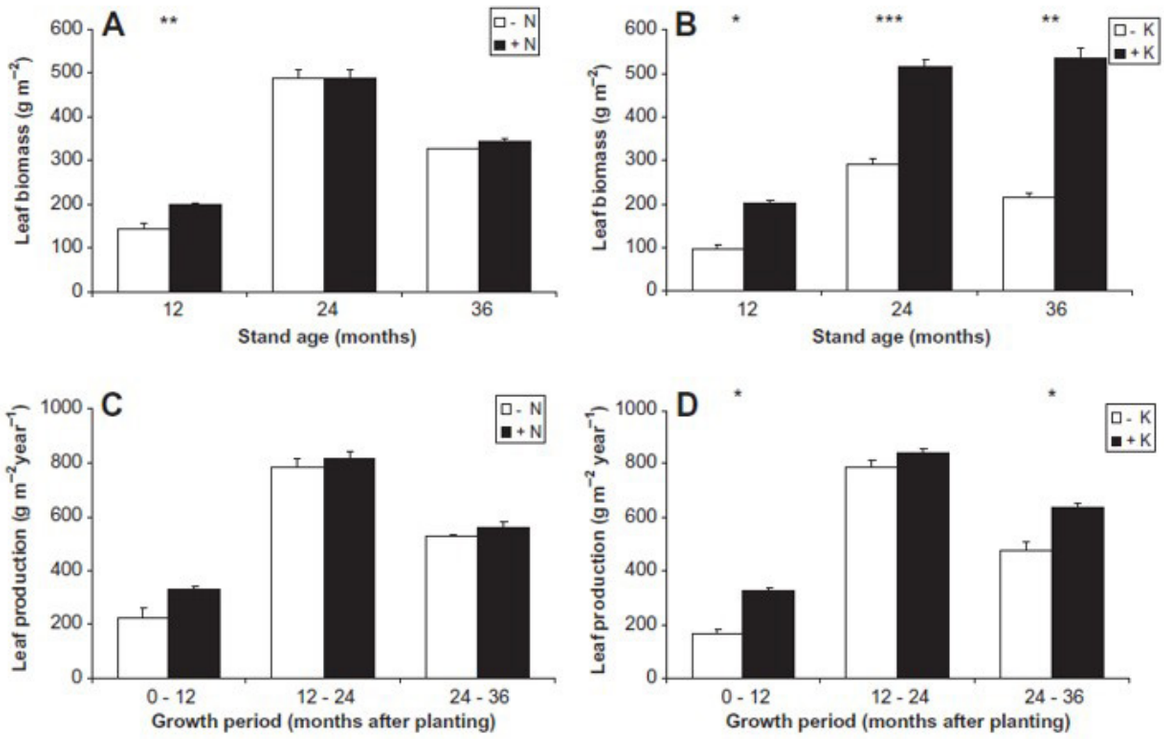

Figura 1. Dinâmica da biomassa foliar, produção foliar e porcentagem da produção de biomassa acima do solo destinada à produção de folhas no experimento estudando a resposta ao N (A e C, respectivamente) e no experimento estudando a resposta ao K (B e D, respectivamente). As diferenças significativas em cada idade são indicadas por *P < 0,05, **P < 0,01 e ***P < 0,001.

INTERAÇÕES ENTRE A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E AS NECESSIDADES DE POTÁSSIO DAS ÁRVORES

Uma compreensão básica dos efeitos nutricionais sobre os mecanismos envolvidos na resposta das árvores à seca será essencial sob um clima mais seco no futuro. Um experimento de exclusão foi instalado em Itatinga (estado de São Paulo) para avaliar os efeitos da nutrição em potássio (K) e em sódio (Na) nos ajustes estruturais e fisiológicos das árvores para o déficit hídrico. Independentemente do abastecimento de água, o fornecimento de K e Na aumentou muito o crescimento e a área foliar (LAI) de árvores de *Eucalyptus grandis* durante os primeiros 3 anos após o plantio.

Excluindo 37% de precipitação, o acúmulo de biomassa acima do solo foi reduzido no terceiro ano após o plantio somente para as árvores adubadas com K. As árvores eram pouco sensíveis à seca devido à utilização de água armazenada em camadas profundas do solo após o corte raso da plantação anterior. As arvores se adaptaram à restrição da água através do fechamento dos estomatos, ajuste osmótico e diminuição no LAI. Além disso, as concentrações de açúcar no floema das árvores aumentaram durante as épocas secas. O fornecimento de K e Na aumentou a condutividade máxima dos estomatos, e as altas necessidades de água de árvores fertilizadas aumentou o estresse hídrico durante os períodos secos. Um estudo de genômica funcional (baseado em RNAseq) sobre amostras de câmbio e folhas no mesmo experimento mostrou resultados consistentes com marcadores de estresse hídrico muito mais fortes em árvores fertilizadas com K do que em árvores não fertilizadas (Ployet et al., 2019).

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 9 04/05/2023 17:18:59

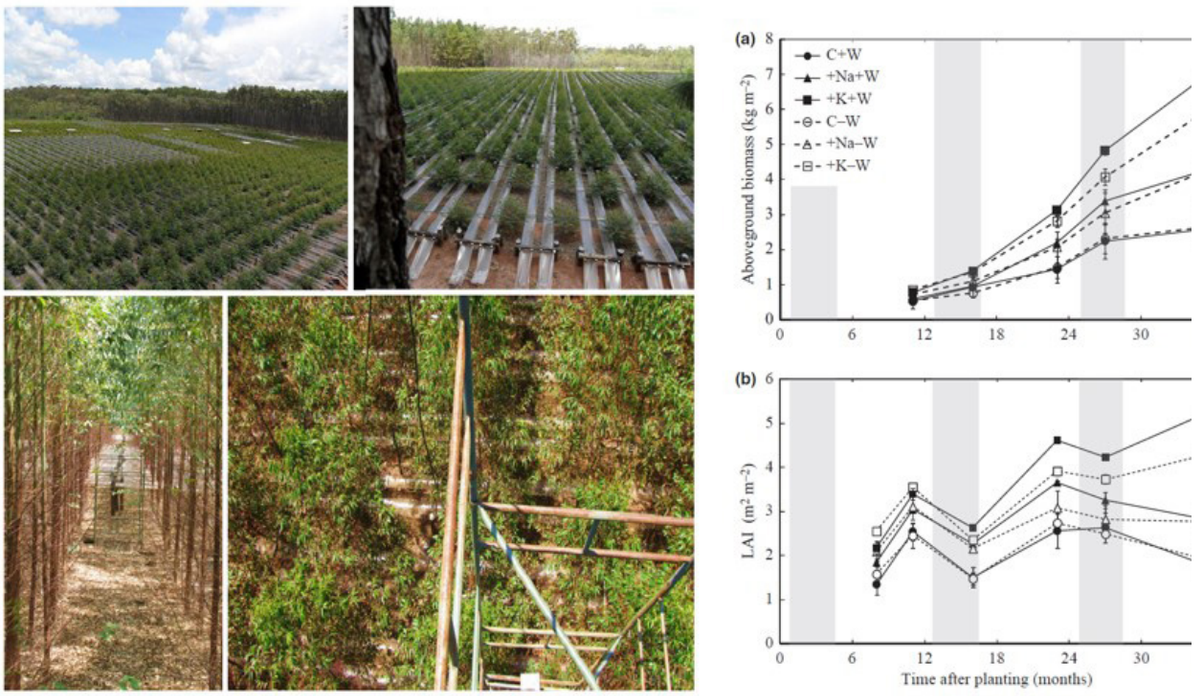

Figura 2. Experimento de exclusão de chuva em grande escala conduzido na Estação Experimental de Itatinga da Universidade de São Paulo no Brasil, aos 222 dias (fotos superiores) e 855 dias (fotos inferiores) após o plantio de *Eucalyptus grandis*. Biomassa acima do solo (a) e índice de área foliar (LAI) (b) das árvores Eucalyptus grandis durante os primeiros 3 anos após o plantio. C, +Na e +K referem-se às árvores do tratamento controle, adubadas com sodio (Na) e adubadas com potassio (K), respectivamente. +W e -W referem-se à precipitação não perturbada e exclusão de 37% da precipitação total, respectivamente. As áreas sombreadas representam a estação seca (julho-outubro).

Os regimes de fertilização devem ser revisitados em um futuro clima mais seco, a fim de encontrar o equilíbrio certo entre a melhoria das árvores crescimento e limitação da escassez de água.

Um modelo baseado em processos (MAESPA) foi parametrizado em um experimento de exclusão por precipitação para avaliar os efeitos combinados da deficiência de K e da redução da precipitação (37% de exclusão por precipitação) sobre a produção de biomassa, a eficiência na utilização da luz, a água utilizada pelas árvores, e as flutuações do lençol freático durante os primeiros 5 anos após o plantio.

A abordagem de modelagem mostrou que a nutrição K e o déficit de água influenciaram essencialmente a radiação absorvida através de mudanças no índice de área foliar e na altura das árvores. As mudanças na produtividade primária bruta e na eficiência do uso de água foram, entretanto, impulsionadas por um conjunto mais complexo de parâmetros das árvores, especialmente aqueles que controlam a captação de água pelas raízes e as capacidades fotossintéticas das folhas.

Uma comparação da transpiração do dossel em cada parcela com os valores previstos para o mesmo solo com o teor de água mantido na capacidade do campo, permitiu calcular um índice de estresse hídrico das árvores para cada tratamento. Em comparação com as árvores fertilizadas com K com chuva não perturbada (+K+W), a transpiração da copa foi 40% menor para a deficiência de K (-K+W), 20% menor para o déficit de W (+K-W) e 36% menor para o déficit de K e W combinados (-K-W) em média. A água foi retirada em camadas mais

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 10 04/05/2023 17:18:59

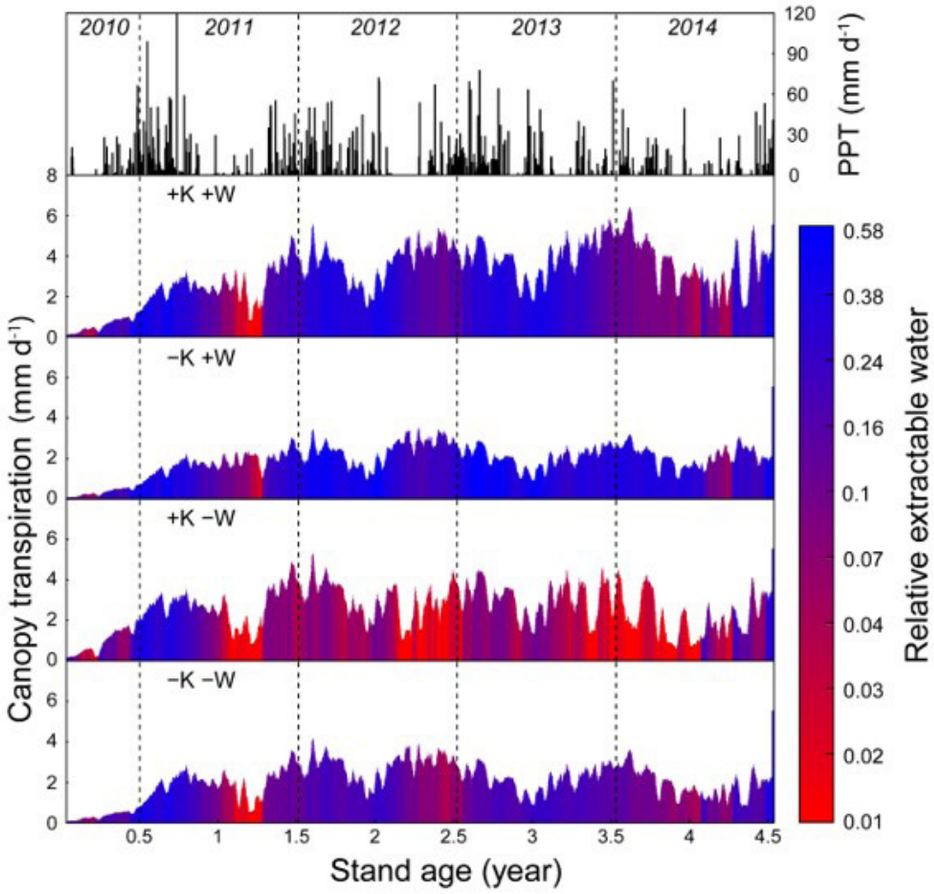

Figura 3. Transpiração de copa em parcelas de Eucalyptus grandis durante 4,5 anos após o plantio. -K e +K são para as árvores K-deficientes e K-fornecidas, respectivamente. +W e -W são para as chuvas não perturbadas e exclusão de 37% da precipitação total, respectivamente. O índice diário de estresse hídrico do solo, ISWS,d é mostrado como um gradiente de cor (vermelho para transpiração limitado pelo conteúdo de água do solo, e azul para transpiração não limitada). A precipitação diária (PPT) durante o período de estudo é mostrada no gráfico superior.

profundas do solo para -W do que para +W, particularmente durante as estações secas. Sob o contraste da disponibilidade de K, a retirada de água foi mais superficial para -K do que para +K. O teor médio de água no solo até 18 m abaixo da superfície foi 24% mais alto para -K+W do que para +K+W a partir de 2 anos após o plantio (após o fechamento da copa), enquanto foi 24% menor para +K-W e 12% menor para -K-W do que para +K+W. O índice de estresse hídrico das árvores acionadas pelo solo foi 166% mais alto durante os primeiros 4,5 anos após o plantio para -W do que para +W, 76% mais baixo para -K do que para +K, e 14% mais baixo para -K-W do que para +K+W. Durante o período do estudo, a infiltração profunda foi maior em 371 mm yr^{-1} (+122%) para -K do que para +K e menor em 200mm yr-1 (-66%) para -W do que para +W. A infiltração profunda foi menor em 44% para -K-W do que para +K+W. Ao final do período de estudo, o modelo previu um lençol freático superior para -K (10 m de profundidade para -K+W e 16 m para -K-W) do que para +K (16 m de profundidade para +K+W e 18 m para +K-W). Nosso estudo sugere que regimes flexíveis de fertilização poderiam contribuir para ajustar os trade-off entre a produção de madeira e a demanda de recursos hídricos do solo em florestas plantadas.

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 11 04/05/2023 17:18:59

CONCLUSÃO

Esse trabalho melhorou muito nossa compreensão das interações entre a fertilização com potássio e a demanda de água no eucalipto. Em particular, revelou um maior estresse hídrico em árvores fertilizadas com K do que em árvores não fertilizadas, apesar de um melhor controle da perda de água nas folhas. O grande aumento da área foliar e a alta transpiração das árvores que limita a recarga das camadas profundas do solo na estação chuvosa explicam a sensibilidade das árvores fertilizadas a secas excepcionais que poderiam levar à mortalidade das árvores se as raízes não tivessem acesso a um lençol freático nos primeiros 20 m de solo. Outros estudos seriam interessantes para entender melhor o papel do K no funcionamento das árvores, em particular sua influência sobre o potencial osmótico das raízes e sua capacidade de absorver água, a condutividade hidráulica do tronco, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida J.C.R., Laclau J.-P., Gonçalves J.L.M., Ranger J., Saint-André L., 2010. A positive growth response to NaCl applications in Eucalyptus plantations established on K-deficient soils. Forest Ecology and Management, 259, 1786-1795.

Asensio V., Domec J.C., Nouvellon Y., Laclau J.-P., Bouillet J.-P., Jordan-Meille L., Lavres J., Rojas J.D., Guillemot J., Habreu-Junior C.H., 2020. Potassium fertilization increases hydraulic redistribution and water use efficiency for stemwood production in Eucalyptus grandis plantations. Environmental and Experimental Botany, 176, 104085.

Battie-Laclau P., Delgado-Rojas J.S., Christina M., Nouvellon Y., Bouillet J.-P., Piccolo M.C., Moreira M.Z., Gonçalves J.L.M., Roupsard 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. Forest Ecology and Management, 364, 77-89. http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.004

Battie-Laclau, P., Laclau, J-P., Domec, J-C., Christina, M., Bouillet, J-P., Piccolo, M.C., Gonçalves, JLM, Moreira, R.M., Krusche, A.V., Nouvellon, Y., 2014. Effect of potassium and sodium supply on drought-adaptative mechanisms in Eucalyptus grandis plantations. New Phytologist, 203, 401-413.

Battie-Laclau P., Laclau J.-P., Beri C., Mietton L., Muniz M.R.A., Arenque B.C., Piccolo M.C., Jordan-Meille L., Bouillet J.-P., Nouvellon Y., 2014. Photosynthetic and anatomical responses of Eucalyptus grandis leaves to potassium and sodium supply in a field experiment. Plant, Cell & Environment, 37, 70-81.

Battie-Laclau P., Laclau J.-P., Piccolo M.C., Arenque B.C., Beri C., Mietton L., Muniz M.R.A., Vazami B.K., Jordan-Meille L., Buckeridge M.S., Nouvellon Y., Ranger J., Bouillet J.-P., 2013. How does potassium and sodium nutrition influence leaf area and its components in Eucalyptus grandis trees? Plant and Soil, 371, 19-35.

Christina M., le Maire G., Nouvellon Y., Vezy R., Bordron 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. Forest Ecology and Management, 418, 4-14.

Christina M., Le Maire G., Battie-Laclau P., Bouillet J.-P., Nouvellon Y., Jourdan C., Gonçalves J.L.M., Laclau J.-P., 2015. Measured and modeled interactive effects of potassium and water deficiencies on photosynthesis and light use efficiency in Eucalyptus grandis plantations. Global Change Biology, 21(5), 2022–2039.

Cornut I., le Maire G., Laclau J.-P., Guillemot J., Mareschal L., Nouvellon Y., Delpierre N., 2021. Potassium limitation of wood productivity : A review of elementary processes and ways forward to modelling illustrated by Eucalyptus plantations. Forest Ecology and Management, 494, 119275.

Demarchi G., Subervie J., Leite F.P., Laclau J.-P., 2021. Farmers' preferences for water-saving strategies in Brazilian eucalypt plantations. Forest Policy and Economics, 128, 102459.

Epron D., Laclau J.-P., Almeida J.C.R., Gonçalves J.L.M., Ponton S., Sette Jr C.R., Delgado-Rojas J.S., Bouillet J.-P., Nouvellon Y., 2012. Do changes in carbon allocation account for the growth response to potassium and sodium applications in tropical Eucalyptus plantations? Tree Physiology, 32, 667-679.

Favreau B., Pereira da Silva H., Franceschini L.M., Denis M., Ployet R., Mounet F., Carrer H., Laclau J.P., Labate C., 2019. Distinct leaf transcriptomic response of water deficient Eucalyptus grandis submitted to potassium and sodium fertilization. PLoS One 14(6)

Gonçalves J.L.M., Alvares C.A., Ferraz S.F.B., Lima W.P., Higa AR, Silva L.D., Alfenas A.C., Stahl J., Brancalion P.H.S., Hubner A., Bouillet J.-P., Laclau J.-P., Nouvellon Y., Epron D., 2013. Joining genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in eucalypt plantations of Brazil. Forest Ecology and Management, 301, 6-27.

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 12 04/05/2023 17:18:59

Guillemot J., Asensio V., Bordron 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., Gonçalves J.L.M., Robin A., Laclau J.-P., 2021. Increased hydraulic constraints in Eucalyptus plantations fertilized with potassium. Plant Cell Environ., 1–13

Laclau J.-P., Ranger J., Gonçalves J.L.M., Maquère V., Krushe A.V., M'Bou Thongo A., Nouvellon Y., Saint-André L., Bouillet J.-P., Piccolo M.C., Deleporte P., 2010. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations. Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. Forest Ecology and Management, 259, 1771-1785.

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 life span and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantations. Tree Physiology, 29, 111-124.

Ployet R., Veneziano Labate M.T., Reggiani Cataldi T., Christina M., San Clemente H., Favreau B. Tomazello Filho M., Laclau J.-P., Labate C.A., Chaix G., Grima-Pettenati J., Mounet F., 2019. Water deficiency and potassium supply trigger interconnected signals to modulate wood formation in Eucalyptus grandis. New Phytologist, 1-17, doi: 10.1111/nph.15802

Pradier C., Hinsinger P., Laclau J.-P., Bouillet J.-P., Guerrini I .A., Gonçalves J.L.M., Asensio V., Abreu-Junior C.H., Jourdan C., 2017. Rainfall reduction impacts rhizosphere biogeochemistry in eucalypts grown in a deep Ferralsol in Brazil. Plant Soil, 414, 339–354.

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 13 04/05/2023 17:18:59