

Fertilização alternativa e trocas gasosas em plantação de Eucalipto⁽¹⁾

Eric Victor de Oliveira Ferreira⁽²⁾; Fábio Henrique Silva Floriano de Toledo⁽³⁾; Alexandre Vicente de Ferraz⁽⁴⁾; Nikolas Mateus de Souza⁽⁵⁾; José Carlos Arthur Júnior⁽⁶⁾; José Leonardo de Moraes Gonçalves⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da FAPESP, Mineradora Curimbaba e International Paper.

^(2;4) Pós-doutorando (bolsistas FAPESP e CNPq) do Departamento de Ciências Florestais; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ (Universidade de São Paulo-USP); Piracicaba, São Paulo; ericsolos@yahoo.com.br, avferraz@usp.br; ⁽³⁾ Doutorando em Recursos Florestais; ESALQ/USP; fhtoledo@usp.br; ⁽⁵⁾ Graduando em Engenharia Florestal; ESALQ/USP; nikolas.mateus@usp.br; ⁽⁶⁾ Coordenador Executivo do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo (PTSM); Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF); arthur@ipef.br; ⁽⁷⁾ Professor do Departamento de Ciências Florestais; ESALQ/USP; jlmgonca@usp.br.

RESUMO: O suprimento de potássio (K), sódio (Na) e silício (Si) pode alterar as trocas gasosas e o crescimento das plantas. Este estudo objetivou avaliar as trocas gasosas e a produtividade de eucalipto fertilizado com fonte alternativa de nutrientes. Em junho de 2013 foi realizado o plantio do eucalipto (*E. grandis* x *E. urophylla*) em um Latossolo Vermelho Amarelo em Luiz Antônio-SP. O experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições e seis tratamentos: Testemunha (10 kg ha⁻¹ de K₂O), KCl1, KCl2 e KCl3 (60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente), Fonolito (180 kg ha⁻¹ de K₂O) e NaCl (107 kg ha⁻¹ de Na₂O). Foram avaliadas as trocas gasosas em abril e novembro de 2014 e em abril de 2015, além da produtividade das plantas neste último período. As trocas gasosas do clone de eucalipto não são influenciadas, até os 22 meses de idade, pelo suprimento de K e Na. Porém, existe tendência inicial de efeito positivo destes elementos nas trocas gasosas do eucalipto.

Termos de indexação: potássio, silício, sódio.

INTRODUÇÃO

Os ganhos em produtividade decorrentes da fertilização potássica em plantações de eucalipto no Brasil podem chegar a 100 % (Melo, 2014). Nas plantas, o potássio (K) está relacionado à abertura e fechamento estomático, balanço hídrico, reações enzimáticas, transporte de açúcares e fotossíntese (Ernani et al., 2007).

O KCl é atualmente a principal fonte de K utilizada na agricultura brasileira, porém 90 % do seu consumo advém de importação (ANDA, 2013), tornando assim seu valor muito dependente de oscilações de mercado. Assim, surge a necessidade por busca de fontes alternativas desse nutriente. Para Kinpara (2003), cada vez mais, a importância de estudar novas fontes de K torna-se um imperativo socioeconômico, visto constituir ele um recurso não-renovável.

O Fonolito se apresenta como uma alternativa interessante, pois além do K tem também na sua constituição elementos benéficos como o silício (Si) e o sódio (Na). O Si reduz a taxa de transpiração, diminuindo assim o consumo de água pela planta (Marschner, 2012), e aumenta a eficiência fotossintética, uma vez que propicia folhas mais eretas (Pulz et al., 2008). Estudos demonstram respostas positivas de plantas à aplicação de Si (Epstein, 1999), contudo poucos esforços têm sido dedicados ao eucalipto (Duarte & Coelho, 2011). O Na pode substituir o K na sua contribuição para o potencial do soluto nos vacúolos, melhorando o balanço hídrico das plantas (Marschner, 2012). A resposta à fertilização com K e Na, na produção de madeira de plantações de eucalipto, resultou de trocas na alocação de carbono (Epron et al., 2011).

Dessa maneira, tanto o K, como o Si e Na, podem trazer benefícios às trocas gasosas das plantas e assim aumentos em produtividade são esperados. Inoue et al. (1979) enfocaram a importância de utilizar a fotossíntese como indicador do comportamento fisiológico da planta e como instrumento auxiliar nas decisões silviculturais.

O presente estudo objetivou avaliar as trocas gasosas, em diferentes épocas, e o crescimento de plantação de eucalipto fertilizada com fontes alternativas de nutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no estado de São Paulo (Luiz Antônio), cujo clima do município é caracterizado como mesotérmico úmido (Cwa), de acordo com a classificação de Koeppen. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura média, com teor inicial de K < 0,4 mmol_c dm⁻³, classificado como muito baixo (Gonçalves, 2011). Em junho de 2013 foi realizado o plantio do clone (IPB8) de eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*) no espaçamento 3 x 2,5 m. A área recebeu fertilização de plantio com 60 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 20 kg ha⁻¹ de Frited

Traced Elements (FTE), 5 kg ha⁻¹ de B e 2000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, além de 10 kg ha⁻¹ de K₂O (via KCl).

de cada variável resposta foram feitas separadamente para cada época de avaliação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tratamentos e amostragens

O experimento tem 13 tratamentos, relacionados à fertilização com fontes de K e Na, porém para este estudo foram selecionados apenas seis tratamentos (Tabela 1). Estes estão dispostos em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. A área útil da parcela tem quatro linhas com quatro plantas cada.

Tabela 1 – Fertilizações de cobertura com fontes de K e Na utilizadas como tratamentos

Tratamento	1ª Cobertura ¹		2ª Cobertura ²	
	K ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O
Testemunha	-	-	-	-
KCl1	50	-	-	-
KCl2	50	-	60	-
KCl3	50	-	120	-
Fonolito ³	170	149	-	-
NaCl	-	71	-	36

¹ Realizada aos 90 dias após o plantio. ² Realizada aos 270 dias após o plantio. ³ Toda a dose aplicada 2 meses após o plantio.

As trocas gasosas foram avaliadas em abril e novembro de 2014 e em abril de 2015. Os meses de abril e novembro representaram, respectivamente, os finais das épocas chuvosa e seca na região. As leituras foram realizadas no período da manhã (8 as 12 h) em uma folha jovem completamente expandida do terço médio de cada árvore, sendo avaliadas quatro plantas por parcela. Foram feitas leituras, com a utilização de um IRGA (*infrared gas analyzer*; Li-6400xt, Licor), da taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), razão da concentração de CO₂ interna e externa da folha (C_i/C_a) e transpiração (E). Pela divisão dos valores de A por E, foi estimada a eficiência do uso da água momentânea (EUA) das plantas. As avaliações foram feitas em temperatura e umidade ambientes e radiação constante (1500 μmol m⁻² s⁻¹).

Em abril de 2015, com fita métrica foi medida a circunferência à altura do peito (CAP; 1,30 m) e com hipsômetro foi estimada a altura (H) de todas as árvores da área útil da parcela, para a estimativa da produtividade em volume de madeira (V= π x DAP²/4 x H x 0,5; 1333 plantas/ha).

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e também ao teste de médias (Tukey) quando significativos (p<0,10). As análises

Não houve influência das fontes de K e Na nas trocas gasosas das plantas de eucalipto nas diferentes épocas de avaliação (Figura 1). Respostas em crescimento de plantações de eucalipto à fertilização potássica somente foram observadas a partir do segundo ano de cultivo (Melo, 2014), indicando que em idade mais avançada do plantio do presente estudo diferenças nas trocas gasosas podem também vir a ocorrer. Apesar da falta de significância até esta idade (22 meses), algumas tendências foram observadas em tais variáveis. Em abril de 2014, as plantas do tratamento NaCl tenderam a apresentar maiores valores de A, g_s, C_i/C_a e E, e no tratamento KCl2 os menores (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d). Por outro lado, a EUA na mesma época teve uma tendência de maior valor no tratamento KCl3 (Figura 1e).

Em uma idade mais avançada do plantio (novembro de 2014), final da época seca, foram observadas tendências de maiores valores de A, g_s, C_i/C_a e E novamente no tratamento NaCl, assim como no tratamento KCl1 (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d). A EUA nesta época tendeu a ser maior nos tratamentos KCl2 e Fonolito (Figura 1e). Dessa maneira, já se observa uma tendência de efeito inicial positivo dos tratamentos que contem K e Na, em relação à testemunha, nas referidas variáveis avaliadas em novembro de 2014. Também, destacam-se valores mais altos de E observados nesta época, acarretando menores valores de EUA, em relação às outras épocas de avaliação (Figuras 1d e 1e). Na época seca, existem menores valores de temperatura e umidade do ar na região. Existe relação negativa entre déficit de pressão de vapor (DPV) e g_s em eucalipto (Otto et al., 2013; Battie-Laclau et al., 2014a). Também há forte correlação positiva entre A e g_s em eucalipto (Battie-Laclau et al., 2014b).

Na última época de avaliação (abril de 2015), final da época chuvosa, foi verificada tendência clara de menores valores de A, g_s, C_i/C_a e E no tratamento testemunha, em relação aos tratamentos que receberam fertilização com K e Na. A fertilização potássica e sódica aumentou, respectivamente, a A em 2,0 e 1,6 e a g_s em 2,1 e 1,7 vezes em relação ao controle, em plantas de *E. grandis* (Battie-Laclau et al., 2014b). Observa-se que plantas cultivadas sem fertilização com K (testemunha) apresentaram tendência de maior EUA (Figura 1e), fato este devido à tendência de menor E verificada neste tratamento (Figura 1d).

A produtividade em volume das plantas começou a se diferenciar, em função dos tratamentos aplicados, nesta época de avaliação (**Figura 1f**). Apesar de pequenas diferenças, destaca-se maior produtividade das plantas fertilizadas com Fonolito e o oposto observado no tratamento KCl3. Tal comportamento indica um efeito benéfico inicial da fertilização potássica via fonte alternativa com o Fonolito no crescimento das plantas. Nesta última época de avaliação (abril de 2015), o Fonolito foi um dos tratamentos que apresentou tendência de maiores valores de A , g_s , e E (**Figuras 1a, 1b e 1d**).

De forma geral, observa-se uma tendência de efeito inicial da fertilização com K e Na nas trocas gasosas das plantas. Mudanças de *E. globulus* tiveram a A aumentada pelo suprimento de nutrientes (Warren, 2004). Por outro lado, em *E. globulus* de 4 anos a A não foi influenciada pela fertilização NPK (Turnbull et al., 2007). Não houve boa relação entre os valores de trocas gasosas e a produtividade das plantas até esta idade de avaliação (22 meses). A EUA em nível de folha (A/E ; momentânea) não se mostrou até então uma boa variável indicadora de produtividade deste clone de eucalipto. Otto et al. (2013) observaram, aos 23 meses de idade do plantio, relação linear entre A e a produtividade de clones de eucalipto, considerando conjuntamente regiões contrastantes (úmida e seca). Porém, em uma análise mais criteriosa, observa-se que no referido trabalho esta relação não foi estabelecida quando da avaliação de cada área separadamente. Assim, infere-se que esta variável não apresenta boa relação com a produtividade do eucalipto, quando o mesmo é cultivado em condições similares. Foi concluído que medições pontuais de A e g_s não foram suficientes para diferenciar clones de eucalipto em relação à produtividade (Otto et al., 2013).

CONCLUSÕES

As trocas gasosas do clone de eucalipto não são influenciadas, até os 22 meses de idade, pelo suprimento de K e Na;

Existe tendência inicial de efeito positivo do K e Na nas trocas gasosas do eucalipto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências (FAPESP, CNPq e CAPES) pelas bolsas de pesquisa e também ao PTSM-IPEF por todo apoio logístico prestado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Anuário estatístico do setor de fertilizantes. ano base 2012. São Paulo: ANDA, 2013. 173p.

BATTIE-LACLAU, P. et al. Effects of potassium and sodium supply on drought-adaptive mechanisms in

Eucalyptus grandis plantations. New Phytologist (2014a), doi: 10.1111/nph.12810.

BATTIE-LACLAU, P. et al. Photosynthetic and anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to potassium and sodium supply in a field experiment. Plant, Cell and Environment, 37: 70-81, 2014b.

DUARTE, I. N. & COELHO, L. Uso do silício no cultivo de mudas de eucalipto. Enciclopédia Biosfera, 7:1-10, 2011.

EPRON, D. et al. Do changes in carbon allocation account for the growth response to potassium and sodium applications in tropical *Eucalyptus* plantations? Tree Physiology, 32:667-679, 2011.

EPSTEIN, E. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50:641-664, 1999.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. & SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al., eds. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p.551-594.

GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de plantação de eucalipto. In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, II., Campinas, 2011. Anais. Campinas: FUPEF, 2011. p 85-113.

INOUE, M. T.; GALVÃO, F. & TORRES, D. V. Estudo ecofisiológico sobre *Araucaria angustifolia*: Fotossíntese em dependência à luz no estágio juvenil. Revista Floresta, 10:5-9, 1979.

KINPARA, D.I. A importância do potássio para o Brasil. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 27p.

MARSCHNER, P. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd ed. London: Academic Press, 2012. 651p.

MELO, E. A. S. C. Nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas. [tese] Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo; 2014.

OTTO, M. S. G. et al. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. Revista Árvore, 36-37:431-439, 2013.

PULZ, A. L. et al. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:1651-1659, 2008.

TURNBULL, T. L. et al. Within-canopy nitrogen and photosynthetic gradients are unaffected by soil fertility in field-grown *Eucalyptus globulus*. Tree Physiology, 27:1607-1617, 2007.

WARREN, C. R. The photosynthetic limitation posed by internal conductance to CO₂ movement is increased by nutrient supply. Journal of Experimental Botany, 55: 2313-2321, 2004.

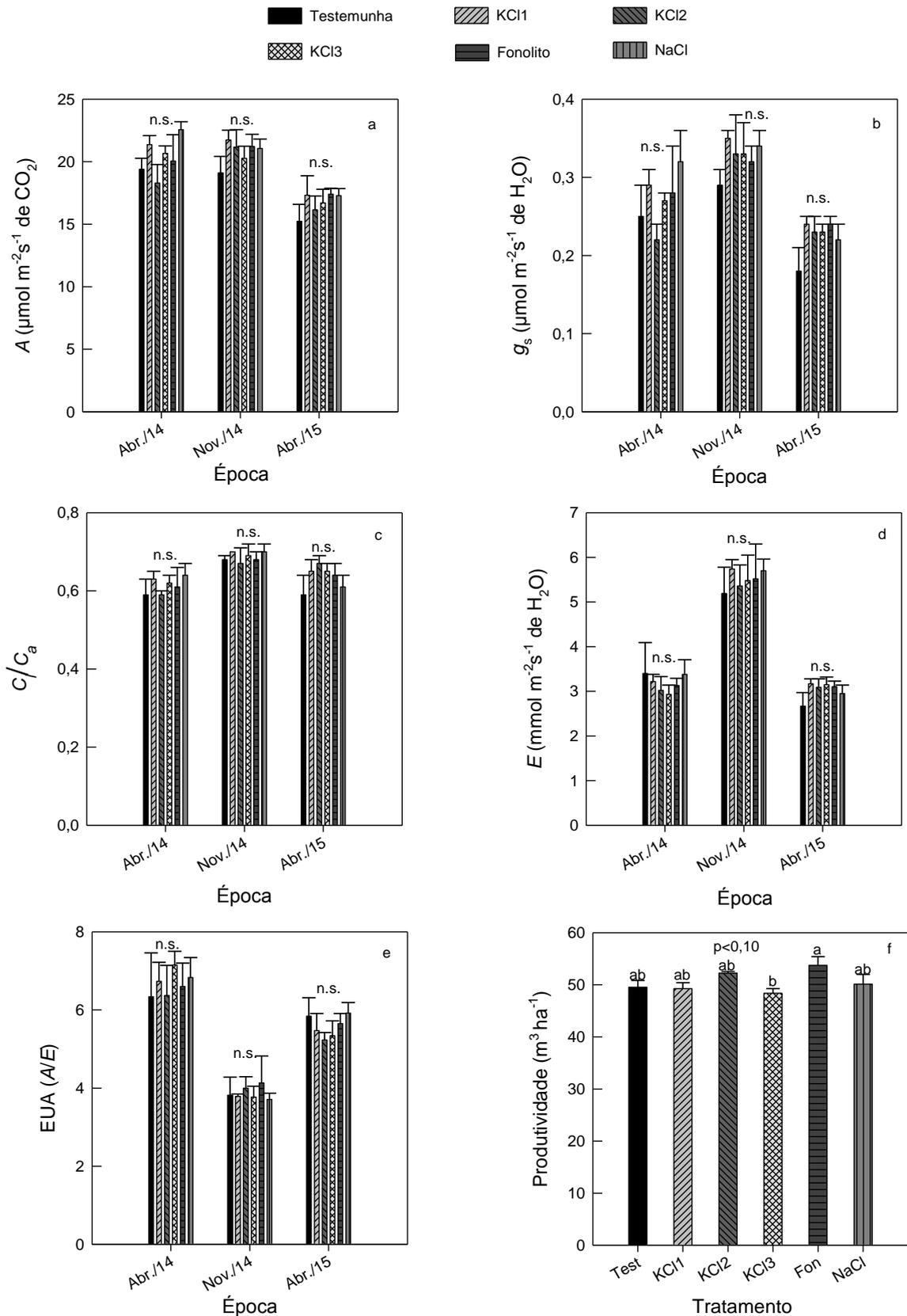


Figura 1 – Fotossíntese-A (a), condutância estomática- g_s (b), razão da concentração de CO_2 interna e externa da folha- C_i/C_a (c), transpiração-E (d), eficiência do uso da água momentânea-EUA (e) e produtividade de eucalipto (f) em função dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra são consideradas estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($p < 0,10$). ^{ns} representa não significativo a 10 % pelo teste F. Barras nas colunas representam o erro padrão da média.