

Crescimento inicial de povoamentos mistos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* com supressão de macronutrientes primáriosInitial growth of mixed stands of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* with suppression of primary macronutrientsClovis Orlando da Ros¹, Edison Rogerio Perrando², Lucindo Somavilla³,
Kauana Engel⁴, Daylien Mayane Sossmeier Albring Predige⁴,
Rodrigo Ferreira Silva¹ e Vanderlei Rodrigues Silva¹**Resumo**

O crescimento de espécies arbóreas é frequentemente limitado por restrições nutricionais. Com o objetivo de avaliar o crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* com a supressão de nitrogênio, fósforo e potássio, foi conduzido um experimento na UFSM, *campus* de Frederico Westphalen. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, em arranjo fatorial 2 x 4, sendo duas espécies florestais (*E. grandis* e *T. ciliata*) e quatro tipos de adubação (NPK, PK, NK e NP). Foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 45 kg ha⁻¹ de K₂O. As mudas das espécies florestais foram plantadas a campo no dia 01 de novembro de 2013, manualmente, consorciadas, no espaçamento de 1 x 1 m. A área total da parcela foi de 25 m², com 12 plantas de *E. grandis* e 13 plantas de *T. ciliata*. Durante 325, em períodos diferenciados, foram avaliados a altura das plantas, diâmetro da copa, diâmetro na altura do peito e a concentração de N, P e K do tecido foliar. Os resultados foram submetidos à análise da variância a 5% de probabilidade de erro e as médias comparadas pelo teste de Tukey e por contraste ortogonal ($p \leq 0,05$). As respostas às adubações foram semelhantes para os parâmetros de crescimento nas duas espécies florestais. Na ausência de nitrogênio, houve redução da altura de plantas, diâmetro da copa e diâmetro a altura do peito. A supressão de fósforo e potássio não influenciaram os parâmetros de crescimento das duas espécies florestais.

Palavras-chave: nitrogênio, fósforo, potássio, cedro australiano, eucalipto.

Abstract

The growth of tree species is often limited by nutritional restrictions. With the purpose of to evaluate the initial growth of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* with the removal of nitrogen, phosphorus and potassium, an experiment was conducted in UFSM, *campus* Frederico Westphalen. The experimental design was a randomized block with four replications in a factorial 2 x 4, two tree species (*E. grandis* and *T. ciliata*) and four types of fertilizer (NPK, PK, NK and NP). 50 kg ha⁻¹ N, 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ and 45 kg ha⁻¹ of K₂O were applied. The seedlings of forest species were planted in the field on november 1, 2013, manually consortium, spaced 1 x 1 m. The total area of the plot was 25 m², with 12 plants of *E. grandis* and 13 of *T. ciliata* plants. During 325, in different periods, were evaluated plant height, crown diameter, diameter at breast height and the concentration of N, P and K leaf tissue. The results were submitted to analysis of variance at 5% probability of error and means compared by Tukey test and orthogonal contrast. The answers to fertilization was similar to the growth parameters in the two forest species ($p \leq 0,05$). In the absence of nitrogen, there was reduced plant height, crown diameter and diameter at breast height. The removal of phosphorus and potassium did not affect the growth parameters of the two forest species.

Keywords: nitrogen, phosphorus, potassium, australian cedar, eucalyptus.

¹Professor Associado do Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Campus Universitário. Linha 7 de Setembro - BR 386, Km 40 - 98400-000 - Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: clovisdaros@gmail.com; rofesil@bol.com.br; vanderlei@ufsm.br.

²Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Campus Universitário. Linha 7 de Setembro - BR 386, Km 40 - 98400-000 - Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: edison.perrando@ufsm.br.

³Mestre em Agronomia. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Campus Universitário. Linha 7 de Setembro - BR 386, Km 40 - 98400-000 - Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: lucindosomavilla@hotmail.com.

⁴Graduanda em Engenharia Florestal. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Campus Universitário. Linha 7 de Setembro - BR 386, Km 40 - 98400-000 - Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: kauanaeg@gmail.com; mayane.daylien@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio e o potássio são os macronutrientes primários encontrados em maiores quantidades nas plantas cultivadas, sendo amplamente estudados nos cultivos de grãos, forrageiras, frutíferas e olerícolas, com doses e épocas de aplicação bem definidas, juntamente com o fósforo, que é o quarto nutriente em quantidade acumulada (CQFS-RS/SC, 2004). Nas espécies florestais, normalmente a quantidade acumulada na parte aérea das plantas segue esta ordem: N > Ca > K > Mg > P (FARIA et al., 2008; BENATTI, 2013).

Em povoamentos florestais, a disponibilidade de referências científicas atreladas a trabalhos de pesquisa em campo é ainda limitada em relação à nutrição de plantas. Informações disponíveis sobre adubação são encontradas principalmente em trabalhos científicos cujo foco de avaliação são plantações de eucalipto, dentre as quais a recomendação da adubação nitrogenada é de forma parcelada, principalmente no primeiro ano de implantação, mas com ampla variação da sua contribuição no volume e na biomassa produzida, sendo muitas vezes contraditória (JESUS et al., 2012).

Apesar disso, é de consenso entre os pesquisadores do setor florestal que, durante o planejamento para formação de povoamentos florestais homogêneos, seja estratégica a decisão em optar ou não por um programa de manejo nutricional das plantas. Contudo, a adoção de um regime de adubação de forma desbalanceada em nutrientes poderá afetar consideravelmente o crescimento e a produção volumétrica de madeira ao final da rotação do povoamento florestal.

A diminuição da altura de plantas, diâmetro do tronco e na produtividade de madeira em plantações de *Eucalyptus grandis* com a supressão de nutrientes é encontrada na maioria dos trabalhos de pesquisa nas diferentes regiões do Brasil (SANTANA et al., 2002; PULITO, 2009; SETTE JR. et al., 2010). A supressão da adubação nitrogenada nem sempre causa redução do crescimento das plantas, mesmo em solo com alto teor de matéria orgânica (GAVA et al., 2003), diferentemente da adubação fosfatada, onde há resposta na maioria dos trabalhos de pesquisa nas diferentes regiões do Brasil, associados a solos altamente intemperizados e com baixa disponibilidade do nutriente (GAZOLA, 2014; DIAS et al., 2014). Para o potássio, dependendo dos teores no solo, pode não haver aumento de crescimento e produtividade de madeira com o uso da adubação, indicando que se pode suprimir o nutriente, principalmente para determinados solos da região centro-oeste e sul do Brasil (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000; SETTE JR. et al., 2010).

No caso de *T. ciliata*, espécie recentemente introduzida no Brasil, uma das principais limitações para a utilização em plantios comerciais é a carência de informações sobre sua exigência nutricional em implantações a campo, principalmente nas condições de clima e solo na região sul do país. Em condições de casa de vegetação, o nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre são os macronutrientes que afetam com maior intensidade o crescimento das mudas de *T. ciliata* (MORETTI et al., 2011). Em condições de campo, ainda é utilizado no Brasil o mesmo manejo da adubação do cedro-brasileiro ou do eucalipto, que pode levar a inadequada nutrição das plantas, já que é uma espécie exigente em nutrientes e não tolera solos ácidos (VILELA; STEHLING, 2012).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento inicial, em condições de campo, das espécies *T. ciliata* e *E. grandis* com supressão de nitrogênio, fósforo e potássio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen, localizado na região do Médio Alto Uruguai do estado do Rio Grande do Sul, situado a 27° 23' 45,5" Sul e 53° 25' 31,3" Oeste, em área anteriormente utilizada para culturas anuais de produção de grãos.

A altitude é de 474 m e o clima, segundo a classificação de Koeppen, é subtropical úmido com verão quente, tipo Cfa. A precipitação média anual é entre 1.900 e 2.200 mm e bem distribuídos ao longo do ano. As temperaturas máximas são superiores ou iguais a 22°C e as mínimas dos meses mais frios entre -3 a 17°C (ALVARES et al., 2013). A incidência da radiação solar global anual encontra-se em torno de 17 MJ m⁻² dia⁻¹, variando de 11 MJ m⁻² dia⁻¹ nos meses de menor incidência (meses de inverno) até 22 MJ m⁻² dia⁻¹ nos meses de maior incidência (meses de verão) (MATZENAUER et al., 2011). Na figura 1 estão especificados os dados pluviométricos e de temperaturas

mínimas e máximas mensais nos meses de condução do experimento (outubro de 2013 a setembro de 2014) obtidos da Estação Climatológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de Frederico Westphalen, distante 410 m da área experimental.

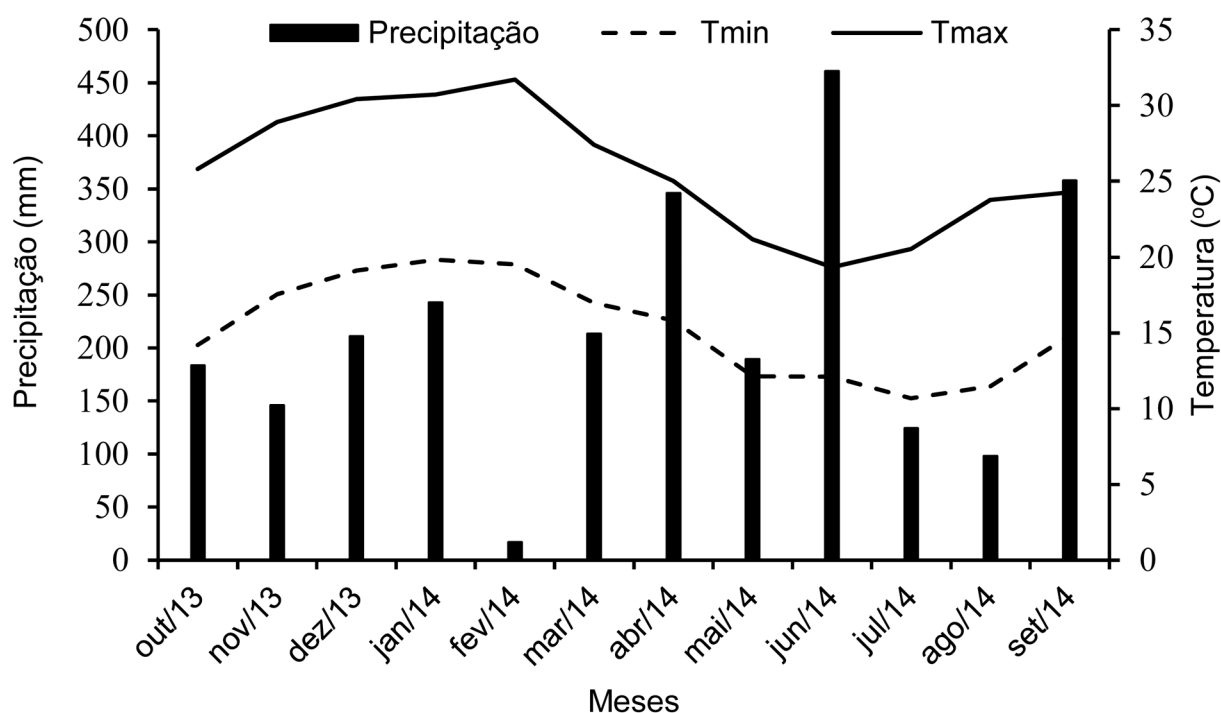


Figura 1. Precipitação e temperaturas máximas e mínimas mensais de outubro de 2013 a setembro de 2014. Dados obtidos da Estação Climatológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de Frederico Westphalen, Brasil.

Figure 1. Precipitation and maximum and minimum monthly temperatures from October 2013 to September 2014. Data from the Climatological Station INMET (National Institute of Meteorology) of Frederico Westphalen, Brazil.

O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho aluminoférrico típico (SANTOS et al., 2013), com os seguintes atributos físicos analisados em setembro de 2013, antes da implantação do experimento, na camada superficial (0-20 cm): 720 g kg⁻¹ de argila, 110 g kg⁻¹ de silte e 170 g kg⁻¹ de areia, determinado pelo método da pipeta, após dispersão da amostra com NaOH 1,0 mol L⁻¹; 1,24 Mg m⁻³ de densidade aparente, determinada pelo método do anel volumétrico; 0,54 m³ m⁻³ de porosidade total; 0,44 m³ m⁻³ de microporosidade e 0,10 m³ m⁻³ de macroporosidade, determinados segundo a metodologia descrita em EMBRAPA (2011). Os atributos químicos, na mesma camada de solo, foram: pH em água de 6,1; 4,5 mg dm⁻³ de P; 185 mg dm⁻³ de K⁺; 6,5 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 3,6 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 7,4 mg dm⁻³ de S; 14,4 mg dm⁻³ de Cu; 2,1 mg dm⁻³ de Zn e 2,6 g kg⁻¹ de matéria orgânica, determinados com base na metodologia utilizada pela CQFS-RS/SC (2004), descrita em Tedesco et al. (1995).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições, no arranjo fatorial 2 x 4, com duas espécies florestais (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) e quatro combinações de macronutrientes primários (NPK, PK, NK, NP). As doses foram de 50 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 45 kg ha⁻¹ de K₂O. Metade da adubação nitrogenada e a dose total de P foram aplicadas no fundo das covas e misturadas com o solo, imediatamente antes do plantio das mudas. A adubação potássica foi aplicada imediatamente após o plantio, direcionado na projeção da copa das mudas. Em cobertura, aos 73 dias após o plantio, foi aplicado o restante da adubação nitrogenada, na projeção da copa das plantas e sem incorporação ao solo. Foram utilizadas a ureia, o super fosfato triplo e o cloreto de potássio como fontes N, P e K, respectivamente.

As mudas das espécies florestais, produzidas no Viveiro Florestal do *Campus* Universitário de Frederico Westphalen, foram plantadas a campo no dia 01 de novembro de 2013, manualmente, consorciadas, no espaçamento de 1 x 1 m. As parcelas foram constituídas de uma área total de 25 m² (5 x 5 m), com 12 plantas de *E. grandis* e 13 plantas de *T. ciliata*, sendo a área útil de medição de 9 m² (3 x 3 m), com quatro plantas de *E. grandis* e cinco plantas de *T. ciliata*.

O controle de formigas foi realizado periodicamente com o uso de iscas granuladas, distribuídas dentro e nas proximidades da área experimental. Para o controle de plantas invasoras procedeu-se com duas aplicações de haloxifope-R éster metílico (Verdict®R), na dose de 0,4 L ha⁻¹ do produto comercial, e capinas manuais quando necessário.

Realizou-se a avaliação do crescimento em altura das plantas (AP) (aos 76, 96, 133, 176, 245 e 325 dias do plantio), diâmetro da copa (DC) (aos 96, 133, 176 dias) e diâmetro à altura do peito (DAP), a 1,30 m do solo (aos 325 dias). A AP foi medida com régua graduada até os 176 dias e, posteriormente, com hipsômetro digital Vertex®. O DC foi estimado a partir de duas medições cruzadas da copa, com régua graduada em milímetros e o DAP com fita dendrométrica. As medições foram realizadas em todas as plantas da área útil da parcela (9 m²) e calculadas as médias para cada tratamento.

Aos 245 dias após o plantio das mudas a campo foram coletadas folhas maduras do terço superior das plantas da área útil de cada parcela, formando uma amostra composta para análise foliar. As amostras foram secas em estufa, a 65°C, até massa constante. No material seco e moído foram quantificados os teores de N, P e K, após digestão úmida com ácido sulfúrico concentrado. Foram quantificados o N por destilação de arraste (semi-micro *Kjeldahl*), o P por espectrofotometria e o K por fotometria de chama, conforme metodologias descritas em Tedesco et al. (1995).

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro. As médias de crescimento das espécies foram comparadas pelo teste de Tukey e as médias das adubações por contrastes ortogonais ($p \leq 0,05$) usando a adubação NPK como testemunha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância mostrou interação não significativa entre espécies florestais e as adubações em todos os parâmetros de crescimento, indicando resposta semelhante das duas espécies em relação às adubações (Tabela 1). Observa-se que houve efeito das adubações em todos os parâmetros de crescimento, com reduções significativas na AP, DC e DAP somente com a supressão de N em relação à adubação completa (NPK) (Tabela 2).

Aos 325 dias do plantio, o crescimento médio das duas espécies florestais foi de 4,22 e 3,59 m em AP e, 3,99 e 3,49 cm em DAP, respectivamente nos tratamentos com NPK e com supressão de N (PK) (Tabela 2). Estes valores equivalem a uma redução de 14,9% na AP e 12,6% no DAP com a omissão de N. Isto mostra a importância do N nos estágios iniciais de crescimento do *T. ciliata* e *E. grandis*, pois é um dos nutrientes mais limitante ao crescimento das plantas (FARIA et al., 2008; MORETTI et al., 2011). No cultivo de *T. ciliata*, apesar da resposta semelhante à aplicação de N nos estágios iniciais de crescimento em relação ao *E. grandis*, não se pode traçar um paralelo sobre a nutrição em povoamentos com mais de um ano de idade devido a inexistência de informações.

Aos 18 meses do plantio (~550 dias) em um povoamento de *E. urograndis* em Mato Grosso do Sul, usando a mesma dose de N, Gazola (2014) encontrou redução de apenas 4,7% no DAP na ausência da adubação nitrogenada, apesar do solo apresentar teor muito baixo de matéria orgânica (Neossolo Quartzoarenico). No estado de São Paulo, nos primeiros anos de crescimento de plantações de *E. grandis* e *E. urograndis*, Pulito (2009) verificou redução média anual de 16; 9 e 10% na produtividade de madeira na ausência de N nos solos com textura arenosa, média e argilosa, respectivamente. Maiores reduções na ausência da adubação nitrogenada, chegando a 37% no volume de tronco aos 30 meses de idade em povoamento de *E. urophylla*, foram obtidos por Jesus et al. (2012), em Minas Gerais, em Latossolo Vermelho amarelo sob cerrado, com textura muito argilosa e baixo teor de matéria orgânica.

Destaca-se que o potencial de resposta à aplicação de N nos cultivos de eucalipto está relacionado os teores de N total e mineralizável do solo (Pulito, 2009), ocorrendo resposta à adubação em povoamento de clones de eucalipto até dois anos de idade, mesmo em solos com alto teor de matéria orgânica (GAVA et al., 2003). Os autores destacam que a absorção de N pelas plantas está associada à disponibilidade na forma mineral no solo, resultante do processo da mineralização da matéria orgânica nos primeiros anos de implantação, acrescido da mineralização da serrapilheira em povoamentos estáveis. Em média, o incremento na produtividade de madeira não ultrapassa a 12% em povoamentos jovens (1 a 2,2 anos) e 6% em intermediários (3 a 4 anos). Em povoamentos com idade de corte a resposta tende a ser não significativa (Pulito, 2009).

Tabela 1. Probabilidade de teste F da análise da variância e o coeficiente de variação (CV) dos parâmetros de crescimento e dos teores foliares de nutrientes das duas espécies florestais e dos quatro tipos de adubações. UFSM, campus de Frederico Westphalen, 2014.

Table 1. Probability of F test analysis of variance and the coefficient of variation (CV) of the growth parameters and nutrient content of the two forest species and the four types of fertilizers. UFSM, campus Frederico Westphalen, 2014.

Dias após o plantio	Probabilidade do teste F			CV (%)
	Interação (E x A)	Espécies (E)	Adubações (A)	
Altura de plantas				
76	0,8872	0,0000*	0,0002*	11,1
96	0,4373	0,0000*	0,0040*	8,6
133	0,1917	0,0000*	0,0001*	8,7
176	0,8309	0,0000*	0,0060*	6,5
245	0,5377	0,0000*	0,0006*	6,3
325	0,7275	0,0000*	0,0019*	7,1
Diâmetro da copa				
96	0,6176	0,0000*	0,0000*	7,4
133	0,5750	0,0000*	0,0937	6,8
176	0,0703	0,0000*	0,0285*	5,7
Diâmetro à altura do peito				
325	0,9713	0,0000*	0,0250*	8,9
Teor de nutrientes				
245 – N	0,2874	0,0002*	0,6740	7,6
245 – P	0,1143	0,0000*	0,3805	12,1
245 – K	0,7838	0,0000*	0,3377	10,2

(*) Teste F significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2. Altura de plantas, diâmetro da copa e diâmetro à altura do peito de *Eucalyptus grandis* e *Toona ciliata* em função dos tipos de adubações. Médias das duas espécies florestais e dos quatro tipos de adubações. UFSM, campus de Frederico Westphalen, 2014.

Table 2. Plant height, crown diameter and diameter at breast height of *Eucalyptus grandis* and *Toona ciliata* according to the types of fertilizers. Means of two forest species and the four types of fertilizers. UFSM, campus Frederico Westphalen, 2014.

Dias após o plantio	Adubações				Espécies	
	NPK	PK (-N)	NK (-P)	NP (-K)	<i>T.ciliata</i>	<i>E.grandis</i>
Altura de plantas (m)						
76	0,61	0,44*	0,55	0,56	0,45 B(1)	0,63 A
96	0,96	0,80*	0,88	0,88	0,79 B	0,97 A
133	1,74	1,36*	1,63	1,62	1,45 B	1,72 A
176	2,62	2,31*	2,53	2,43	2,18 B	2,77 A
245	3,19	2,72*	3,01	3,01	2,56 B	3,41 A
325	4,22	3,59*	3,92	3,99	3,22 B	4,64 A
Diâmetro da copa (m)						
96	0,76	0,62*	0,75	0,75	0,66 B	0,78 A
133	1,25	1,15*	1,23	1,24	1,06 B	1,37 A
176	1,67	1,55*	1,67	1,67	1,40 B	1,88 A
Diâmetro a altura do peito (cm)						
325	3,99	3,49*	3,96	3,91	2,95 B	4,73 A

*Contraste significativo ($p \geq 0,05$) entre o tratamento com supressão de nutriente e a adubação completa com NPK. (1) Médias não seguidas pela mesma letra, na linha, diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Apesar da pequena resposta à adubação nitrogenada nas espécies florestais, Jesus et al. (2012) ressaltam a importância da mesma, não apenas diretamente no aumento do crescimento nos estágios iniciais de implantação dos povoamentos, mas também na contribuição da ciclagem do nutriente via mineralização da serrapilheira, manutenção da matéria orgânica no solo, redução da degradação do solo e do aumento das sequências de plantios na mesma área.

A supressão de P não influenciou a AP, DC e DAP em todas as épocas de avaliações (Tabela 2). Aos 325 dias do plantio, a AP atingiu 4,22 cm no tratamento com adubação NPK e 3,92 cm no tratamento com supressão de P, indicando que a supressão da adubação fosfatada nas duas espécies florestais não causou redução do crescimento das plantas (Tabela 2). Normalmente há redução de crescimento das plantas com a supressão de P, pois é o nutriente mais limitante, devido aos teores

naturalmente baixos e à elevada capacidade de adsorção de P da maioria dos solos das regiões tropicais (NOVAIS et al., 2007). Além disso, a redução do crescimento das plantas à supressão de P ocorre com maior intensidade em povoamentos jovens (GAVA, 2003).

Em um Neossolo Quartzoarênico (85 g kg⁻¹ de argila) do estado do Mato Grosso do Sul com teor muito baixo de P, Gazola (2014) encontrou redução de 4 a 13% na AP e de 7 a 13% no DAP na ausência de adubação fosfatada nas avaliações realizadas entre um e dois anos de idade em povoamento de *E. urograndis*. Na ausência de adubação fosfatada, em solos com teores baixo de P no solo (4,9 a 5,1 mg kg⁻¹), Dias et al. (2014) também encontraram redução significativa na AP e DAP aos 340 dias de idade em plantios de *E. benthamii* e *E. dunnii* em um Cambissolo húmico, no estado de Santa Catarina, com 240 a 243 g kg⁻¹ de argila.

A ausência de resposta à supressão de P no crescimento das duas espécies florestais no presente estudo, sob condições de média disponibilidade de P no solo (4,5 mg dm⁻³), valores abaixo do nível crítico (6,0 mg dm⁻³) estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004), pode estar relacionada à ausência de alumínio trocável e ao pH adequado do solo (5,6), acima do limite de necessidade de correção da acidez do solo para as espécies florestais (pH < 5,5). Estas condições provavelmente contribuíram para a adequada nutrição de P às plantas nos estágios iniciais de crescimento, pois os níveis críticos de P no solo e na parte aérea podem diminuir com a correção da acidez do solo (MAEDA; BOGNOLA, 2012).

Assim, em solos com médios teores de P a resposta à adubação fosfatada nas espécies florestais tende a ocorrer somente em condições de baixo pH e alta de saturação por alumínio, conforme relatos de Cipriani et al. (2012), onde encontraram redução de 22% na AP aos seis meses de idade em povoamento de *E. urograndis*. Isto indica que, em solos com a acidez corrigida, os níveis críticos de P podem ser menores do que os atuais estabelecidos pela CQFS-RS/SC (2004). Além disso, a resposta à adubação fosfatada pode ser afetada devido à diferença nutricional entre as espécies florestais (DIAS et al., 2014). Comparando duas espécies de eucalipto, Santana et al. (2002) verificaram em vários sítios florestais do estado de São Paulo que *E. grandis* apresenta maior eficiência em utilizar o P do que *E. saligna*.

Com relação à supressão de P em *T. ciliata*, os dados de pesquisa ainda são insipientes e apontam para um direcionamento principalmente para produção de mudas. Destaca-se a alta exigência em P da espécie (VILELA; STEHLING, 2012) e a resposta significativa à adubação fosfatada em solo com pH de 5,5 encontrada por Moretti et al. (2011) em condições de baixo teor do nutriente no solo. Estudos em condições de campo e em solos com média e baixa disponibilidade de P serão necessários para quantificar a exigência nutricional de *T. ciliata* e, sobretudo, para delimitar níveis críticos desta espécie florestal.

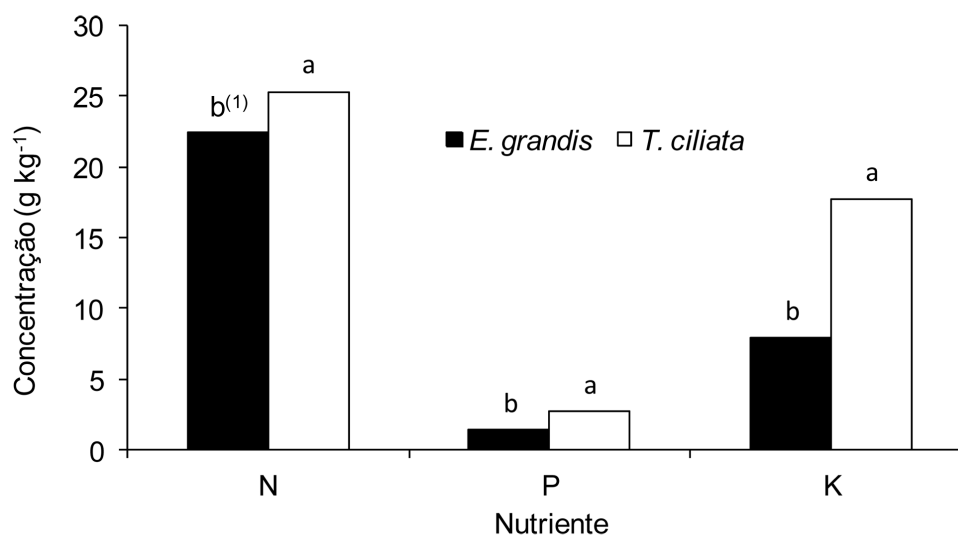
Semelhante ao P, os parâmetros de crescimento das duas espécies florestais não foram afetados pela supressão de K, indicando ausência de resposta à adubação potássica (Tabela 2). Na média das duas espécies florestais, a AP foi de 4,22 cm no tratamento NPK e 3,99 cm no tratamento com omissão de K (Tabela 2). Os altos teores de K no solo da área experimental (185 mg kg⁻¹), conforme as classes de interpretação da CQFS-RS/SC (2004), deve ter proporcionado um adequado suprimento do nutriente nas duas espécies florestais, já que não houve resposta para a adubação potássica.

Nos solos originados de rochas basálticas da região do Médio Alto Uruguai do Rio Grande do Sul há potencial de liberação de K de fontes primárias, na forma de mica e feldspatos, além de esmectita com hidróxi entre camadas (MELO et al., 2004). Acrescido às adubações potássicas para cultivos de grãos, levantamentos na região demonstram que mais de 80% das áreas apresentam teores de K acima do nível crítico (WEIRICH et al., 2008). Assim, os resultados do experimento, associado aos níveis de K dos solos da região, indicam baixa probabilidade de resposta à adubação potássica no plantio das duas espécies florestais.

Em estudo realizado por Gava (1997) no estado de São Paulo, em dois Argissolos Vermelho amarelo com 14 e 65 mg dm⁻³ de K, foi obtida resposta significativa na AP e DAP em povoamentos de eucalipto com 5 anos de idade somente no solo com menor teor de K, sendo imprescindível a aplicação do nutriente também nas rotações sucessivas. O autor ainda relata que o solo com 65 mg dm⁻³ de K trocável permitiu um fornecimento suficiente do nutriente para a manutenção da produtividade. Respostas à adubação em solos com teor baixo ou muito baixo de K (3 a 21 mg dm⁻³) em povoamentos de eucalipto com diferentes idades são relatadas em vários locais do Brasil (SETTE JR. et al., 2010; FARIA et al., 2002; GAZOLA, 2014). Normalmente, em solos acima de 40 mg kg⁻¹ de K não há resposta com a aplicação do nutriente (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

Os parâmetros de crescimento evidenciaram diferença significativa entre as duas espécies, com menor AP, DC e DAP para *T. ciliata*, em todas as épocas de avaliação (Tabela 2). Observa-se que as diferenças entre as duas espécies florestais foram menores nas primeiras avaliações realizadas após o plantio, aumentando gradativamente nas avaliações subsequentes. Isto se deve, provavelmente, à diminuição da temperatura principalmente a partir do mês de abril (Figura 1), afetando com menor intensidade o crescimento das plantas de *E. grandis* em relação a *T. ciliata*. Na última avaliação realizada (325 dias do plantio), as diferenças entre as duas espécies foram de 1,42 m de AP e 1,78 cm de DAP, mostrando que *T. ciliata* atingiu 69,4 e 62,3% da AP e DAP, respectivamente, em relação ao *E. grandis* (Tabela 2). Entretanto, as duas espécies florestais apresentaram rápido crescimento inicial nas condições de clima e solo do sul do Brasil. Na média das três adubações, os incrementos para AP foram de 0,30 e 0,44 m mês⁻¹ para *T. ciliata* e *E. grandis*, respectivamente.

As concentrações de N, P e K nas folhas não foram afetadas pelas adubações nas duas espécies florestais (Tabela 1). Em um povoamento de *E. urograndis*, aos 12 meses do plantio, Gazola (2014) encontrou valores semelhantes e também não constatou resposta nas concentrações foliares com as adubações com estes nutrientes. Entre as espécies florestais avaliadas neste estudo, houve diferença significativa na concentração de nutrientes foliares, com média de 22,4 e 25,3 g kg⁻¹ de N; 1,4 e 2,7 g kg⁻¹ de P e 7,9; e 17,7 g kg⁻¹ de K para *E. grandis* e *T. ciliata*, respectivamente (Figura 2).



⁽¹⁾ Médias não seguidas pela mesma letra, para cada nutriente, diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

⁽¹⁾ Means not followed by the same letter for each nutrient, differ by Tukey test at 5% probability.

Figura 2. Concentrações foliares de N, P e K do *Eucalyptus grandis* e *Toona ciliata* aos 245 dias após o plantio. Média das quatro adubações. UFSM, campus de Frederico Westphalen, 2014.

Figure 2. Foliar concentrations of N, P and *Eucalyptus grandis* and K *Toona ciliata* to 325 days after planting. Average of the four fertilization. UFSM, campus Frederico Westphalen, 2014.

Observa-se que os teores foliares de N e P estão dentro, e K abaixo, do nível de suficiência proposto por Malavolta et al. (1997) para *E. grandis* e, também, dentro das faixas para os três nutrientes com base nos valores definidos por Dell et al. (2001) para espécies de eucalipto. Em *T. ciliata* as concentrações foram superiores em 1,1, 1,9 e 2,2 vezes em relação ao *E. grandis*, indicando maior exigência destes nutrientes (Figura 2). Nesta espécie não existem estudos que delimitam as faixas de suficiência, mas os dados do presente estudo mostram que provavelmente seja superior em relação a *E. grandis*. Maior detalhamento em nível regional, com solos representativos e em diferentes doses de nutrientes, deve ser realizado para a verificação da correlação juvenil-adulto ao longo do ciclo da espécie florestal para estabelecer níveis críticos de nutrientes no solo e na parte aérea.

CONCLUSÕES

- A supressão de nitrogênio reduzem, na mesma proporção, o crescimento das plantas de *T. ciliata* e *E. grandis*.
- As restrições de fósforo e potássio não interferem no crescimento inicial de plantas de *T. ciliata* e *E. grandis*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BENATTI, B. P. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. **Crescimento inicial de clones de eucalipto em função de doses de P e K em Porto Velho, Rondônia**. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 1., 2012, Humaitá. *Anais...* Humaitá: SBCS, 2012. p. 1-4.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: SBCS/NRS, 2004. 400 p.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; XU, D.; GROVE, T. S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Camberra: ACIAR, 2001. 188 p.

DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; ERNANI, P. R.; MIQUELLUTI, D. J.; CHAVES, D. M.; BRUNETTO, G. Substituição parcial de fosfato solúvel por natural na implantação de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* no Planalto Sul catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 516-523, 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LIMA, J. C.; TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 577-584, 2002.

GAVA, J. L. Efeito de adubação potássica em plantios de *Eucalyptus grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, v. 11, n. 30, p. 89-94, 1997.

GAVA, J. L. **Efeito comparativo de fontes e doses de fósforo em plantios de eucalipto**. 25 p. 2003. Relatório Técnico da Companhia Suzano de Papel e Celulose.

GAVA, J. L.; ARAÚJO, E. F.; SILVEIRA, R. L. V. A. Crescimento de clones de *Eucalyptus* em resposta à aplicação de nitrogênio em solos com alto teor de matéria orgânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: SBCS, 2003. p. 1-3.

GAZOLA, R. N. **Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na cultura do eucalipto (clone IL144 - *E. urograndis*)**. 2014. 92 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2014.

JESUS, G. L.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; HENRIQUES, E. P.; LIMA, V. C.; FERANANDES, L. V.; SOARES, E. M. B. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 201-214, 2012.

- MAEDA, S.; BOGNO, I. A. Influência de calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial de eucalipto e nos níveis críticos de P. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 32, n. 72, p. 401-407, 2012.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: ABPPE, 1997. 319 p.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. (Ed.). *Atlas Climático: Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: FEPAGRO, 2011.
- MELO, G. W.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Fontes de potássio em solos distroférricos cauliniticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 597-603, 2004.
- MORETTI, B. S.; FURTINI NETO, A. E.; PINTO, S. I. C.; FURTINI, I. V.; MAGALHÃES, C. A. S. Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 4, p. 453-463, 2011.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. **Fósforo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-537.
- PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus***. 2009. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.
- SANTOS, H. G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2013. 353 p.
- SETTE JR., C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; LACLAU, J. P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 979-990, 2010.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus***. Piracicaba: POTAFOS, 2000. 12 p. (Informações Agronômicas, 91)
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEIS, S. J.; BOHMEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- VILELA, E. S.; STEHLING, E. C. **Recomendações de plantio para cedro australiano**. Campo Belo: Bela Vista Florestal, 2012. 23 p.
- WEIRICH, S. W.; DA ROS, C. O.; CHERUBIN, M. R. Situação da Fertilidade dos Solos da Região do Médio Alto Uruguai do Estado do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. 2008, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: SBCS-NRS, 2008. 1 CD-ROM.

Recebido em 24/03/2015

Aceito para publicação em 11/03/2016