



Variabilidade espacial dos atributos foliares do eucalipto após calagem em cerrado Sul Mato Grossense⁽¹⁾.

Paulo Ricardo Teodoro da Silva⁽²⁾; Leandro Alves Freitas⁽²⁾; Paulo Egídio Lourenço da Silva⁽²⁾; José Ricardo Polachini⁽²⁾; Carla Regina Pinotti⁽²⁾; Vagner do Nascimento⁽²⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos financeiros da FAPESP.

⁽²⁾ Estudantes de Pós-Graduação em “Sistemas de Produção”, Universidade Estadual Paulista, UNESP/FEIS, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Rua Monção, 226, CEP: 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: pauloteodoro@agronomo.eng.br; leandroalvesfreitas@hotmail.com; paulo_els@hotmail.com; jrpolach@hotmail.com; carlapinotti7@gmail.com; vagnern@gmail.com.

RESUMO: A cultura do eucalipto está em constante expansão e extensão no cerrado Sul Mato Grossense, além disso, os teores foliares nos diferentes estádios das plantas não estão bem definidos. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial de atributo da planta (altura) e teores foliares (N, P, K, Ca, Mg e S), do *Eucalyptus urograndis* em um Neossolo Quartzarênico no cerrado de baixa altitude. Em uma área experimental localizada no município de Três Lagoas, MS (latitude 20° 27' S e longitude 52° 29' W), foram realizadas, em 2013, amostragens da planta e das folhas, sendo adquiridas em cada ponto amostral as coordenadas. Os valores obtidos pelas análises laboratoriais foram analisados por estatística descritiva através do SAS, e a dependência espacial, por sua vez, foi analisada pelo cálculo do semivariograma através do software GS+, evidenciando, distribuição espacial muito alta para o teor de magnésio foliar. Os teores de nitrogênio foliar apresentam elevada amplitude de variação dos seus valores, demonstrando elevada variabilidade dos dados. O magnésio foliar foi o único atributo que apresentou correlação com a altura de planta do *Eucalyptus urograndis*. O modelo esférico foi o que apresentou melhor ajuste aos dados do semivariograma estudado.

Termos de indexação: *Eucalyptus urograndis*; geoestatística; adubação corretiva.

INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil conta com 7,2 milhões de hectares (ha) cultivados com plantas do gênero *Eucalyptus*, dos quais 597.135 hectares representam o estado do Mato Grosso do Sul, cuja produção se destina à indústria madeireira, moveleira, siderúrgica e de celulose e papel (ABRAF, 2013).

Três Lagoas (MS) é uma das cidades com maior expansão da cultura no estado, sendo os Neossolos Quartzarênicos a principal classe de solo na região. Esses solos são considerados de baixa aptidão agrícola e o uso continuado com culturas anuais

pode levá-los rapidamente à degradação. São solos com baixa capacidade de agregação de partículas, baixos teores de argilas e de matéria orgânica e possuem baixa capacidade de retenção de água.

A acidez do solo também limita a produção agrícola em consideráveis áreas do mundo. A deficiência de cálcio (Ca) e a toxidez causada por alumínio (Al) e manganês (Mn) são os fatores que mais têm limitado a produtividade de solos ácidos em regiões tropicais e subtropicais. Os problemas da acidez do solo são normalmente corrigidos com o uso de calcário (Caires, 2013).

Uma das opções de manejo utilizadas para minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas é a agricultura de precisão, que representa um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial (Molin, 2000).

Diante do exposto este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de um atributo da planta (altura) e teores foliares (N, P, K, Ca, Mg e S) de plantas de *Eucalyptus urograndis*, após calagem em área de cerrado de baixa altitude.

MATERIAL E MÉTODOS

As coletas de dados a campo e as análises laboratoriais foram realizadas durante o segundo semestre de 2013. A área experimental está localizada no município de Três Lagoas, MS, em latitude 20° 27' S e longitude 52° 29' W, com precipitação média anual de aproximadamente 1.300 mm e a temperatura média em torno de 23,7° C.

Os eucaliptos foram cultivados em solo classificados como Neossolo Quartzarênico, em uma área de 50 ha (hectares), sua distribuição foi planejada a partir de um croqui georreferenciado contendo 50 pontos amostrais, de forma a cobrir toda a área. As coordenadas de cada ponto amostral foram obtidas com o auxílio do GPS Garmimitrex e originaram uma planilha contendo latitude, longitude e altitude.



Foram coletadas folhas em início de maturação (seis meses após o plantio) de cada árvore, com quatro repetições, em ramos situados a meia altura das copas, dirigidas aos quatro pontos cardiais, ou seja, norte, sul, leste e oeste. O material coletado foi seco em estufa a 65°C por 48 horas e posteriormente moído, para a determinação de macronutrientes foliares (N, P, K, Ca, Mg e S) seguindo as recomendações de Malavolta et al. (1997). A altura foi coletada com o auxílio de uma régua graduada.

Para cada atributo analisado, realizou-se a análise descritiva clássica, com auxílio do programa estatístico SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997), no qual se determinou a média, mediana, valores de mínimos e de máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e distribuição de frequência.

Para a avaliação da normalidade dos dados, aplicou-se o teste de Shapiro & Wilk a 5%. A dependência espacial foi calculada por semivariogramas executado pelo software GS+, 2004. A análise do Avaliador da Dependência Espacial (ADE) foi conforme proposição de Dalchiavon et al. (2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva para os teores foliares de *Eucalyptus urograndis* indicaram ajuste a uma distribuição normal para as variáveis N_f , P_f e Ca_f . Para as demais variáveis a distribuição foi classificada como indeterminada (**Tabela 1**).

Variáveis estatísticas que apresentam distribuição de frequência classificada como normal ou tendendo a normal, utilizam como medida de tendência central o valor da média. Já para a distribuição de frequência do tipo indeterminada utiliza-se a mediana (Dalchiavon et al, 2014).

Pode-se observar que as variáveis apresentam valores de média e mediana próximos, o que evidencia distribuição simétrica. Quando uma distribuição é simétrica, os valores da média e mediana são coincidentes. (Cruz et al., 2010; Cajazeira & Assis Júnior., 2011 e Campos et al., 2013a). Com isso, o uso da Geoestatística para estas variáveis é perfeitamente aplicável.

Resultados diferentes foram encontrados por Guedes et al. (2006) estudando nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto, exceção encontrada apenas para o teor de S_f que apresentou resultado semelhante (1,3 g kg⁻¹) a presente pesquisa. Essa diferenciação de valores nos teores nutricionais de eucalipto esta intimamente relacionada com a taxa de mineralização e com o teor de matéria orgânica do

solo, principal fonte da disponibilidade desses nutrientes no solo.

Já Silva et al. (2008) avaliando concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* encontraram teores nutricionais semelhantes ao da presente pesquisa. Sendo os valores de 24,4 g kg⁻¹, 1,45 g kg⁻¹, 3,6 g kg⁻¹, 2,0 g kg⁻¹ e 1,2 g kg⁻¹ para N_f , P_f , Ca_f , Mg_f e S_f , respectivamente. Os resultados dos teores de macronutrientes (Tabela 1) encontrados neste trabalho são considerados altos para nitrogênio (13,5-18 g kg⁻¹) e fósforo (0,9-1,3 g kg⁻¹), médios (9-13 g kg⁻¹) para potássio e baixos para cálcio (6-10 g kg⁻¹), magnésio (2,5-3 g kg⁻¹) e enxofre (1,5-2,5 g kg⁻¹) de acordo com Gonçalves (1995).

De acordo com a classificação proposta por Pimentel Gomes & Garcia (2002), todas as variáveis apresentaram um coeficiente de variação médio, sendo o N_f e S_f os que apresentaram menores coeficientes de variação (8,30% e 9,44%, respectivamente). O Mg_f , Ca_f e altura apresentaram os maiores coeficientes de variação (29,31%; 25,19% e 20,14; respectivamente).

Observando as amplitudes entre os valores máximos e mínimos, pode se inferir sobre a variabilidade dos dados, sendo o teor de N_f aquele que apresentou maior variação. Os valores máximo e mínimo de N_f variaram de 34,3 a 24,2 g kg⁻¹.

Os coeficientes de assimetria e curtose são descritos para comparação com a distribuição normal. Na **Tabela 1** verifica-se que os valores de assimetria e curtose apresentaram valores próximos de zero, ou seja, distribuição mesocúrtica. Embora a normalidade dos dados não seja uma exigência para a aplicação de técnicas Geoestatística, é recomendado que a distribuição não apresente caudas muito longas para não comprometer as análises, uma vez que as estimativas por krigagem apresentam melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (Carvalho et al., 2010; Cruz et al., 2010).

Para Carvalho et al. (2010), o instrumento mais indicado para demonstrar a estimativa da dependência entre as amostras é a análise de autocorrelação, sendo que o semivariograma é a função que traduz a semivariância em função das distâncias entre os pontos amostrais. Sendo assim, os resultados analíticos dos teores foliares e a altura de planta foram conduzidos para geração de semivariograma, com a finalidade de avaliar suas dependências espaciais.

O Mg_f foi o único atributo que apresentou correlação significativa ($p < 0,01$) com a altura do eucalipto e que produziu semivariograma que se ajustou aos modelos teóricos (**Tabela 2; Figura 1**).



Os demais atributos produziram o efeito pepita puro (EPP).

O modelo esférico foi o que melhor se ajustou ao semivariograma, com dependência espacial muito alta, R^2 0,60 e alcance de 9,3 m. O alcance é um importante parâmetro no estudo do semivariograma, pois representa a distância máxima na qual há correlação espacial entre os pontos da mesma variável (Mion et al., 2012; Matias et al., 2013). Valores de alcance baixos podem influenciar negativamente a qualidade das estimativas, porque alguns pontos são usados para executar a interpolação a fim de estimar valores em locais não medidos (Cruz et al., 2010).

Observa-se, pelo mapa de krigagem para o teor de Mg foliar (**Figura 2**), a distribuição de manchas para valores menores que 2 g kg^{-1} que ocorrem no centro, na parte noroeste e sudoeste do mapa e menores que 3 g kg^{-1} que ocorrem na parte noroeste e central do mapa.

CONCLUSÕES

Os teores de nitrogênio foliar apresentam elevada amplitude de variação dos seus valores, demonstrando elevada variabilidade dos dados.

O magnésio foliar foi o único atributo que apresentou correlação com a altura de planta do *Eucalyptus urograndis*.

O modelo esférico foi o que apresentou melhor ajuste aos dados do semivariograma estudado.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP processo número: 2013/25329-5 e ao Incentivo à captação de recursos-FUNDUNESP processo número: 2333/002/14-PROPe/CDC pelo apoio financeiro e a Eldorado Brasil Celulose de Três Lagoas, MS.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2013. Brasília: ABRAF, 2013. 149 p.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. IPNI, Informações Agrônomicas, 141, 2013.

CAJAZEIRA, J. P. & ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. Revista Ciência Agrônoma, 42:258-267, 2011.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um Argissolo Vermelho sob floresta. Comunicata Scientiae, 4:168-178, 2013.

CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação Barreiras. Cadernos de Geociências, 7:63-79, 2010.

CRUZ, J. S.; JÚNIOR, R. N. A.; MATIAS, S. S. R. et al. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Ciência e Agrotecnologia, 34:271-278, 2010.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R. et al. Produtividade da cana-de-açúcar: Variabilidade linear e espacial entre componentes tecnológicos e da produção. Bioscience Journal, 30:390-400, 2014.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para Eucalyptus, Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica. Documentos Florestais, 15:1-23, 1995.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30:267-280, 2006.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed., Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MATIAS, S. S. R.; JÚNIOR, J. M.; SIQUEIRA, D. S. et al. Modelos de paisagem e susceptibilidade magnética na identificação e caracterização do solo. Pesquisa Agropecuária Tropical, 43:93-103, 2013.

MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L. et al. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. Ciências Agrárias, 33:2057-2066, 2012.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉM, A., ed. Agricultura de precisão. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.237-257.

PIMENTEL-GOMES, F. P. & GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônomicos e florestais. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

SCHLOTZHAVER, S. D. & LITTELL, R. C. SAS: system for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M. et al. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. Revista Árvore, 32:845-854, 2008.

Tabela 1. Análise descritiva inicial da altura e teores foliares para o *Eucalyptos urograndis* após aplicação de duas toneladas de calcário dolomítico em um Neossolo Quartzarênico, Três lagoas (MS).

Atributos ^(a)	Medidas estatísticas descritivas								Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Valor		Desvio padrão	Coeficiente		Pr<w	DF	
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose			Assimetria
Atributo de Planta										
ALT(m)	3,4	3,5	1,9	4,4	0,69	20,14	-0,6	-0,5	0,0087	IN
Teor Foliar										
N _f (g kg ⁻¹)	28,84	28,9	24,2	34,3	2,00	8,30	-0,33	0,21	0,7500	NO
P _f (g kg ⁻¹)	1,70	1,80	1,20	2,50	0,27	15,60	0,27	0,29	0,3100	NO
K _f (g kg ⁻¹)	9,80	10,0	6,00	14,0	1,73	17,50	-0,14	0,31	0,0001	IN
Ca _f (g kg ⁻¹)	4,20	4,10	2,60	6,90	1,07	25,19	-0,2	0,53	0,1052	NO
Mg _f (g kg ⁻¹)	2,60	2,50	1,40	4,70	0,78	29,31	0,25	0,84	0,0064	IN
S _f (g kg ⁻¹)	1,40	1,50	1,30	1,80	0,14	9,44	-0,71	0,38	0,0020	IN

^(a) ALT = altura de planta; N_f = nitrogênio foliar; P_f = fósforo foliar; K_f = potássio foliar; Ca_f = cálcio foliar; Mg_f = magnésio foliar; S_f = enxofre foliar; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO e IN respectivamente do tipo normal e indeterminada.

Tabela 2 - Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns componentes tecnológicos do *Eucalyptos urograndis* e de alguns atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico após aplicação de duas toneladas de calcário dolomítico de uma fazenda em Três Lagoas, MS.

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo ^(b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>											
ALT	EPP	4,46.10 ⁻¹	4,46.10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>γ(h) simples dos atributos químicos foliares</i>											
N _f	EPP	6,007	6,007	-	-	-	-	-	-	-	-
P _f	EPP	0,073	0,073	-	-	-	-	-	-	-	-
K _f	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca _f	EPP	1,14	1,14	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg _f	exp.(37)	7,2.10 ⁻²	6,04.10 ⁻²	9,3	0,6	1,7.10 ⁻²	88,1	MA	1,58	0,34	0,17
S _f	EPP	0,019	0,019	-	-	-	-	-	-	-	-

^(a)ALT = altura de planta; NF = nitrogênio foliar; Pf = fósforo foliar; Kf = potássio foliar; Caf = cálcio foliar; Mgf = magnésio foliar; Sf = enxofre foliar; ^(b) exp = exponencial, EPP = efeito pipeta puro, com seus devidos pares de lags; ^(c)SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d)ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta, AL = alta, ME = média e BA = baixo.

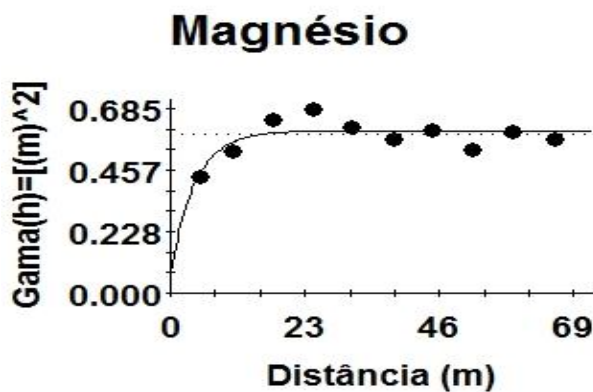


Figura 1. Semivariograma para Mg foliar em *Eucalyptus urograndis*, em Três Lagoas, MS.

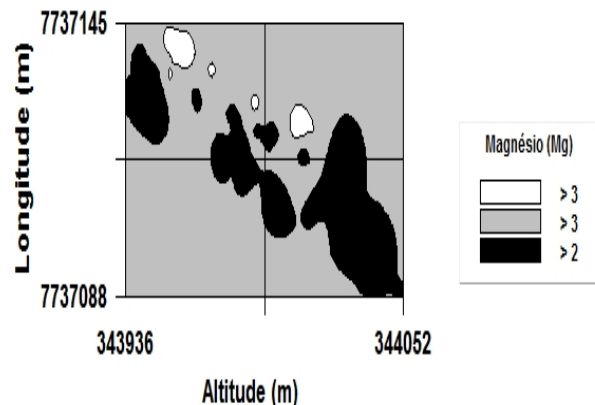


Figura 2. Mapa de krigagem para Mg foliar em *Eucalyptus urograndis*, em Três Lagoas, MS.