

Variabilidade Espacial de Atributos Químicos do Solo e sua Influência na Produção de Resina de *Pinus elliottii* ⁽¹⁾.

João Rafael Bonini Bicudo ⁽²⁾; **Reginaldo Barboza da Silva** ⁽³⁾; **Francisca Alcivânia de Melo Silva** ⁽⁴⁾; **Khalil de Menezes Rodrigues** ⁽⁵⁾; **Antônio Orlando da Luz Freire Neto** ⁽⁶⁾; **Ricardo Nakamura** ⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Universidade Estadual Paulista – Campus Experimental de Registro.

⁽²⁾ Estudante do Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Registro, Rua Nelson Brihi Badur nº 430, CEP: 11900-000, Registro – SP. E-mail: jrb@agronomo.eng.br; ⁽³⁾ Professor, Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Registro, Registro – SP; ⁽⁴⁾ Professora, Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Registro, Registro – SP; ⁽⁵⁾ Doutorando, Instituto Agrônomo - IAC, Campinas – SP; ⁽⁶⁾ Pesquisador, Instituto Florestal – IF, Itapetininga – SP; ⁽⁷⁾ Mestre, Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Registro, Registro – SP

RESUMO: A utilização da técnica da variabilidade espacial visando a melhoria e adequações no sistema produtivo de resina de *Pinus elliottii* é uma alternativa que pode responder alguns questionamentos relativos aos atributos do solo, aos quais possam influenciar na produtividade de resina. Objetivou-se com este trabalho estudar a variabilidade espacial de alguns atributos químicos do solo e sua influência na produção de resina de *Pinus elliottii*. A área experimental constou de um talhão de 12 ha, cultivados com *Pinus elliottii* em espaçamento de 3x2m sobre um Latossolo Vermelho, localizado no Instituto Florestal no município de Itapetininga, SP. A produtividade e os atributos investigados foram amostrados em grades regulares, sendo o krigagem o método matemático empregado na interpolação dos dados. A variabilidade espacial se mostrou uma ferramenta eficiente na avaliação da produtividade de resina, evidenciando a heterogeneidade da produção e a sua dependência no espaço e em função dos atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho. A matéria orgânica e capacidade de troca catiônica do solo foram os atributos que mais influenciaram na produção de resina.

Termos de indexação: Geoestatística; Resinagem; Agricultura de precisão.

INTRODUÇÃO

Atualmente as florestas de pinus (*Pinus taeda* e *Pinus elliotti*) estão espalhadas em quase todo o território brasileiro, com a introdução de espécies tropicais. O desenvolvimento de tecnologias voltadas ao pinus possibilitou um gama de produtos ao mercado, dentre eles estão: madeira serrada, painéis de madeira reconstituída, móveis, produtos de maior valor agregado, extração de celulose e resina.

A produção de resina é influenciada por vários fatores que condicionam o desenvolvimento da

planta: idade da planta, dimensão da planta, sanidade das árvores, operações mecânicas, constituição genética, condições ambientais e as características que solo apresenta.

No Brasil, apesar dos estudos avançados, associando alterações dos mais variados atributos do solo com produtividade de culturas e lavouras de ciclo curto, na monocultura de plantio de árvores em escala comercial, ainda há muito a ser feito e pesquisado. Por se tratar de uma cultura perene, tornando-se inviável.

Portanto uso dos recursos geoestatísticos em estudo como o que está sendo proposto pode, portanto, representar economia de tempo e recursos.

Objetivou-se com este trabalho estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos e químicos do solo e sua influência na produção de resina de *Pinus elliottii*.

MATERIAL E MÉTODOS

A área do experimento está localizada na fazenda experimental do Instituto Florestal – IF, no município de Itapetininga-SP, cuja localização geográfica é dada pela latitude 23° 40' 16.62''S e longitude 48° 02' 42.49'', com uma altitude média de 660 metros. Segundo a classificação climática de Köppen a localização possui um clima temperado úmido (Cwa), com uma temperatura de média máxima de 26,8°C e média mínima de 14,4°C (CEPAGRI, 2012). A dimensão da área é de 12 ha cultivados com *Pinus elliottii* implantados em 1968, seu espaçamento é de 3x2 m, totalizando 20.000 árvores com a finalidade para resinagem. O tipo de solo da área é classificado como Latossolo Vermelho.

Para analisar a variabilidade espacial foi construída uma malha de 92 pontos em grids de 900 m² (30x30m) e para o georreferenciamento foi utilizado sensor (GPS Trimble Juno St handheld), sendo que o ponto georreferenciado

encontra-se nas entrelinhas de cultivo. Para a marcação dos pontos, foi realizada a numeração de cada ponto nas árvores com tinta branca para facilitar a visualização e andamento das coletas.

Coleta dos dados químicos

Foram coletadas amostras indeformadas de terra em 46 pontos na camada de 0-40cm, e encaminhadas para o laboratório do Instituto Brasileiro de Análises-IBRA, para a determinação dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total ($H+Al^3$), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), boro (B), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases trocáveis (SB), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

Análise geoestatística

Para caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo e da produtividade da resinagem, os dados foram analisados utilizando métodos geoestatísticos através do estudo de semivariogramas, conforme Vieira (2000), partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca. A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada através da semivariância $\gamma(h)$.

Os ajustes dos modelos experimentais do semivariograma basearam-se nos valores do coeficiente AIC, ou seja, quanto menor é esse valor seja positivo ou negativo melhor o modelo se ajustará com a semivariância. Ajustado o modelo foram definidos os parâmetros dos semivariogramas: a) efeito pepita (C_0), que é o valor de γ quando $h = 0$; b) alcance da dependência espacial (a), que é a distância a partir da qual a $\gamma(h)$ permanece aproximadamente constante, após aumentar com o aumento de h e c) patamar (C_0+C_1) que é o valor de $\gamma(h)$ a partir do alcance o qual se aproxima da variância dos dados, se ela existe. Para expressar a dependência espacial de uma variável, foi utilizado o grau de dependência espacial (GD), que mede a proporção do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C_1$) e pode ser calculado pela equação 3. De acordo com CAMBARDELLA et al. (1994), o GD pode ser utilizado para classificar a dependência espacial em forte ($GD < 25\%$), moderada ($26\% < GD < 75\%$) e fraca ($GD > 75\%$).

Havendo a comprovação da autocorrelação espacial entre as amostras através da análise dos semivariogramas, foram criados mapas de isolinhas utilizando a krigagem como técnica de interpolação. A krigagem é uma técnica usada na

geoestatística para estimar valores para locais não amostrados que resulta em valores sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000).

A análise geoestatística foi efetuada com o conjunto de software, primeiramente foi utilizado Vesper (Minasny, et al., 2006), para análise do semivariograma, ajustes dos modelos e a aplicação da krigagem. Após esse processo foi utilizado o software Surfer 10 na elaboração dos mapas de isolinhas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os atributos químicos analisados apresentaram dependência espacial expressa pelos semivariogramas, que foram ajustados para a maioria dos atributos modelos esféricos e exponenciais, entretanto para o atributo enxofre (S), o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o linear, comprovado pelo o parâmetro AIC que dentre todos os modelos obteve o maior índice.

De uma forma geral os valores de C_0 foram aproximadamente de zero, somente para M.O (1.264) e Al^3 (5.301) tiveram valores muito elevados esse fenômeno é ocasionado no caso da M.O devido à alta ciclagem natural de uma floresta estabilizada, para Al^3 o motivo é pelo pouca mobilização desse elemento no solo. O efeito pepita (C_0) reflete a variabilidade não explicada em função da distância de amostragem utilizada, como variações locais, erros de análises, erros de amostragem.

Os índices obtidos foram a maioria grau de dependência espacial forte e moderado, sendo somente verificado um (GD) fraco para Al^3 devido ao alto valor de C_0 e C_1 .

A análise dos mapas dos atributos químicos confrontados com o mapa de produção de resina mostra que a (M.O), (C.T.C.), (m%) e (Al^3), tiveram uma padrão que é possível correlacionar à influência de cada um na produção, mesmo que a correlação linear não tenha sido significativa para alguns atributos, mostrando que a dependência espacial tem grande influência nos parâmetros analisados. Em relação à matéria orgânica que nas regiões onde foram encontrados os maiores valores a produção de resina foi maior chegando a proporções de acima de $10 t \cdot ha^{-1}$. Em áreas onde valores de matéria orgânica foram menores a produção também decaiu em entorno de $4 t \cdot ha^{-1}$ (**Figura 1**). Os outros atributos químicos não tiveram um padrão onde era possível visualizar alguma inferência na produção.

Os índices obtidos foram a maioria grau de dependência espacial forte e moderado, sendo somente verificado um (GD) fraco para Al^3 devido ao alto valor de C_0 e C_1 .

A análise dos mapas dos atributos químicos confrontados com o mapa de produção de resina

mostra que a (M.O), (C.T.C.), (m%) e (Al³), tiveram uma padrão que é possível correlacionar à influência de cada um na produção, mesmo que a correlação linear não tenha sido significativa para alguns atributos, mostrando que a dependência espacial tem grande influência nos parâmetros analisados. Em relação à matéria orgânica que nas regiões onde foram encontrados os maiores valores a produção de resina foi maior chegando a proporções de acima de 10 t.ha⁻¹. Em áreas onde valores de matéria orgânica foram menores a produção também decaiu em entorno de 4 t.ha⁻¹ (**Figura 1**). Os outros atributos químicos não tiveram um padrão onde era possível visualizar alguma inferência na produção.

Tabela 1. Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos químicos do solo

Variável	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	AIC	C ₀ /(C ₀ +C ₁)	GD
Atributos Químicos							
M.O	Exponencial	1264	3.518	63,08	25,48	0,26	Moderado
pH	Estérico	0,01	0,004	522,5	-172,2	0,72	Moderado
V(%)	Estérico	0,00	13,36	281,5	82,11	0,00	Forte
m(%)	Exponencial	0,00	20,92	91,24	115,1	0,00	Forte
H+AP	Estérico	0,00	222,7	161,1	123,4	0,00	Forte
CTC	Estérico	0,00	316,7	236,4	191,7	0,00	Forte
S.B	Estérico	0,080	0,154	97,36	-76,36	0,34	Moderado
P	Estérico	0,058	0,035	286,8	-107	0,63	Moderado
K	Estérico	0,001	0,003	197,6	-267,2	0,29	Moderado
Ca	Exponencial	0,0	0,229	24,92	-72,97	0,00	Forte
Mg	Estérico	0,004	0,015	95,95	-92,47	0,20	Forte
S	Linear	12,79	2,591	372,1	47,43	0,00	Forte
AP	Estérico	5,301	21,43	219,3	108,1	1,00	Fraco
B	Estérico	0,00	0,003	35,78	-312,6	0,00	Forte
Cu	Estérico	0,00	0,003	155,9	-139,3	0,04	Forte
Fe	Exponencial	0,00	279,4	32,31	188,9	0,00	Forte
Mn	Estérico	0,00	0,035	79,1	-204,8	0,00	Forte
Na	Estérico	0,002	0,005	205,8	-180,2	0,28	Moderado
Zn	Estérico	0,0003	0,000	28,95	-170,9	0,60	Moderado

C₀= efeito pepita; C₁= variância estruturada; a= alcance em metros; GD= grau de dependência espacial; M.O= matéria orgânica; pH= potencial hidrogenico; P= fósforo; K= potássio; Ca= cálcio; Mg= magnésio; Na= sódio; Al³= alumínio; m%= saturação de alumínio; H+Al³= acidez total; S.B= saturação de bases; CTC= capacidade de troca catiônica; V%= saturação de bases; S= enxofre; B= boro; Cu= cobre; Fe= ferro; Mn= manganês; Zn= zinco.

Essa influência é visualizada provavelmente por se tratar de uma floresta de pinus estabilizada e principalmente pela alta deposição de folhas, galhos e outros resíduos vegetais. A serapilheira sobre a superfície do solo, ao se decompor, libera nutrientes para as árvores. Essa deposição promove a ciclagem dos nutrientes para planta tornando disponíveis os novamente podendo atender parte das demandas de nutrientes da árvore. A ciclagem bioquímica de nutrientes responde pelo atendimento, dependendo do estágio de desenvolvimento da floresta, da maior parte da demanda nutricional das árvores. A magnitude dos fluxos de nutrientes via ciclagem de nutrientes aumenta consideravelmente na fase de fechamento de copas.

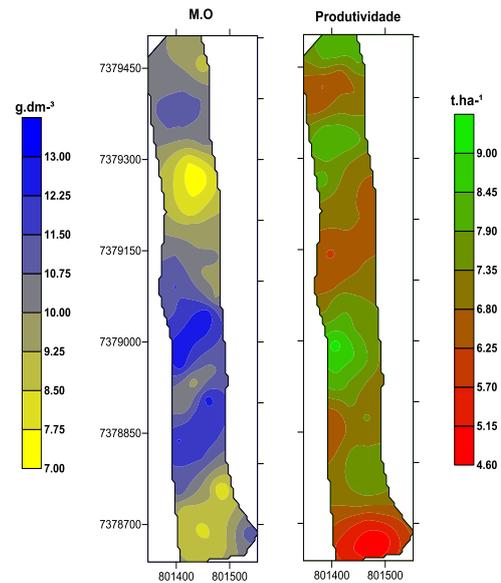


Figura 1. Mapa da matéria orgânica do solo em comparação com o mapa de produtividade

Um resultado interessante obtido pelo trabalho foi a maior produtividade de resina em regiões onde a concentração de Al³ e m% é alta, indo contra todos os parâmetros agrônomicos devido aos efeitos nocivos apresentados para maioria das plantas cultivadas (**Figura 3 e 4**). Entretanto esse fator pode estar ligado a granulometria do solo em regiões onde a uma maior concentração de argila predominam cargas negativas permanentes e como a fertilidade da área é muito baixa os campos de carga elétrica negativa são ocupados pelo alumínio que possui uma maior carga elétrica positiva em relação os nutrientes benéficos (**Figura 2**).

Outro fator que se mostrou importante para produção foi à capacidade de troca catiônica (CTC) apesar de apresentar uma baixa concentração na área de uma forma geral. A variação entre os valores obtidos na área mostrou que em regiões onde o teor de CTC é maior que 52 mmolc.dm⁻³ se reflete na produção maior de resina, (Figura 5). Como a CTC é uma expressão da troca de cátions do solo, existem outros elementos envolvidos para seu entendimento. Segundo Raij (2011) maior parte da CTC do solo está ligada a matéria orgânica com proporções variando de 56% a 82% e, para camadas mais profundas, a fração mineral promove uma maior influência em torno de 41% a 94% dos valores da CTC. Este fato explica as maiores produções, pois nas regiões de maiores CTC são áreas ricas em matéria orgânica com o predomínio da fração argila e o fato da amostragem do solo abordar uma camada de 0-40 cm confirma essa hipótese.

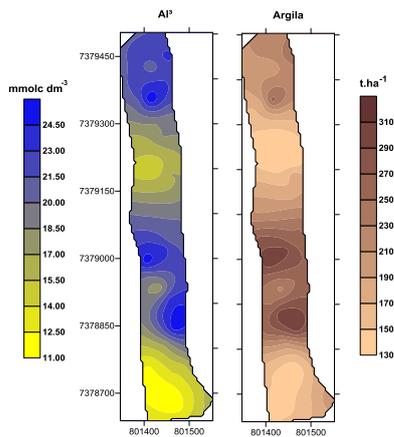


Figura 2. Mapa de Alumínio no solo em comparação com o mapa de argila.

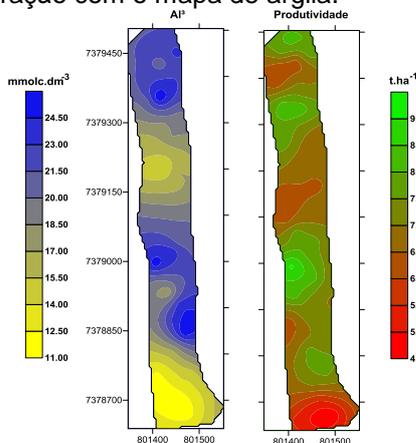


Figura 3. Mapa de Alumínio no solo em comparação com o mapa de produtividade.

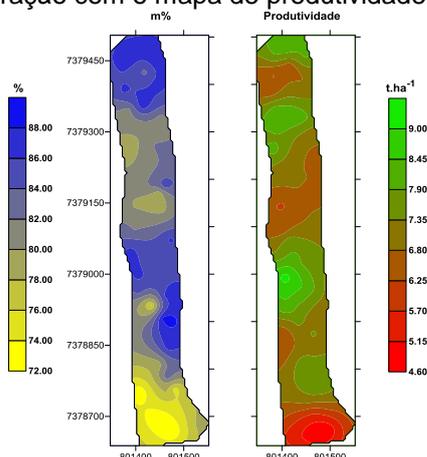


Figura 4. Mapa de saturação de Alumínio no solo em comparação com o mapa de produtividade.

Para os outros atributos não houve um padrão de correlação, impossibilitando fazer alguma comparação com a produtividade, sendo necessários mais estudos para afirmar se existe ou não influência na produção de resina para todos os atributos analisados.

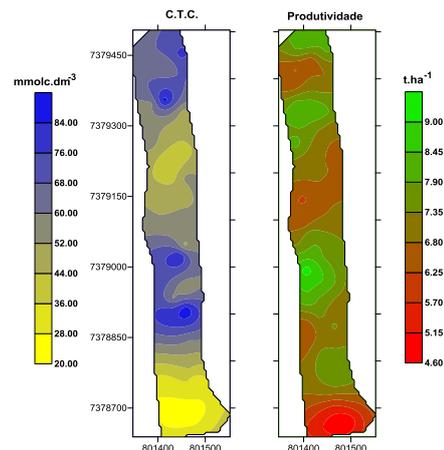


Figura 5. Mapa de CTC no solo em comparação com o mapa de produtividade.

CONCLUSÕES

A variabilidade espacial se mostrou uma ferramenta eficiente na avaliação da produtividade de resina de *Pinus elliottii*, evidenciando a heterogeneidade da produção e a sua dependência no espaço e em função dos atributos químicos do Latossolo Vermelho.

A matéria orgânica e capacidade de troca catiônica do solo foram os atributos que mais influenciaram a produtividade de resina *Pinus elliottii*.

REFERÊNCIAS

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, n.58, p.1501-1511, 1994.

CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicada à Agricultura. Em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_258.html>. Acessado em 10 de novembro de 2012.

MINASNY, B., MCBRATNEY, A. B., WHELAN, B. M. Vesper version 1.6 Australian Center for Precision Agriculture. The University of Sidney, 2006.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba-SP: International Plant Nutrition Institute, 2011.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Schaefer, G.R. (eds) Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.