

Variabilidade Espacial de Atributos Físicos 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⁾

⁽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, 430, CEP: 11900-000, Registro – SP. E-mail: jrb@agronomo.eng.br, ⁽³⁾ Professor, Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Registro, Rua Nelson Brihi Badur, 430, CEP: 11900-000, 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 físicos 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 3 x 2m 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 a 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 do Latossolo Vermelho. A umidade do solo e a textura foram os atributos que mais influenciaram na produção de resina.

Termos de indexação: *Pinus elliotti*, resinagem, geoestatística.

INTRODUÇÃO

A cultura do *Pinus* foi introduzida no Brasil há mais de um século, sendo que inicialmente foi para fins ornamentais. No início da década de cinquenta começou o plantio de árvores em escala comercial para produção de madeira nas regiões sul e sudeste, com as espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* importadas da América do Norte. Atualmente as florestas de pinus 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 (IPEF, 1968).

O monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Partindo deste princípio a avaliação da resistência à penetração do solo, umidade e textura se tornam de suma importância nos sistemas agrícolas e florestais.

Outro fato a ser considerado é que nem sempre o modelo clássico de levantamento, sistematização e análise de dados é o mais adequado e viável em estudos desta natureza. Assim, técnicas de agricultura de precisão, utilizando métodos matemáticos de geoestatística, podem representar uma ferramenta importante no entendimento da alteração e distribuição espacial de atributos físicos e químicos, permitindo estabelecer a influência, ou não, deste. A geoestatística, diferente da estatística clássica, assume que uma determinada propriedade varia de um local para outro, com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela dependência espacial.

Com a utilização dessa ferramenta é possível através da krigagem estimar valores do atributo mensurado para locais não amostrados, evitando a tendência e respeitando a variância mínima. Além disso, muitas das vezes, duas propriedades correlacionam-se entre si e no espaço, sendo uma mais difícil ou mais cara para se medir no campo (VEIRA, 2000). O 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 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 de resinagem. O tipo de solo da área é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006).

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.

Amostragens

As avaliações de resistência à penetração (RP) foram efetuadas nos 92 pontos a profundidade de até 60 cm. Para realização das análises foi utilizado um penetrômetro eletrônico de esforço manual, denominado PenetroLOG, modelo OLG1020 de fabricação da Falker Automação Agrícola. O cálculo do índice de cone foi feito pelo software do penetrômetro estratificando em três profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Os valores umidade foram obtidos em in situ juntamente com a medição da RP abraçando as mesmas camadas, o equipamento utilizado foi o sensor de umidade, denominado ML2X sensor de capacitância (Delta-T Devices, 1999).

Para análise textural foi feito uma malha amostral de 46 pontos de 60x60m, na camada de 0-40 cm. Os parâmetros analisados foram argila, silte, areia total e argila dispersa em água (ADA). As análises laboratoriais foram realizadas no Instituto Brasileiro de Análises – IBRA.

Com os dados da textura do solo, especificamente os teores de argila total e argila dispersa em água, foi determinado para cada ponto georreferenciado o Índice de Floculação (IF), estimado com base na expressão sugerida por EMBRAPA, 1997. Além do IF outro método de análise estrutural foi feito levando em consideração o nível de matéria orgânica requerida para manter a estrutura do solo que é o Índice de Estabilidade (IE), ele foi calculado pela expressão proposta por Pieri (1992).

A coleta de resina foi realizada nos 92 pontos amostrais, sendo obtida uma somatória de resina de duas árvores por ponto georreferenciado totalizando 184 árvores coletadas, sendo que o parâmetro de escolhas das árvores foi de acordo com o diâmetro e dimensão da árvore. A resina coletada foi pesada em uma balança convencional. A coleta da produção de resina foi realizada no mês de agosto de 2012.

O cálculo utilizado para estimativa de produtividade foi realizado da seguinte forma o grid equivale a 900m² que aporta 150 árvores, com os dados de coleta em mãos estipula a produtividade de 150 árvores para um hectare em cada ponto georreferenciado.

Análise estatística / geoestatística

Para caracterizar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade da resinagem, os dados foram analisados utilizando métodos geoestatísticos através do estudo de semivariogramas, (**Equação 1**), realizado pelo software Vesper 1.6 no qual foi obtidos os modelos matemáticos e os parâmetros de dependência espacial.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad 1$$

Outra forma de avaliar a dependência espacial é pelo grau de dependência espacial (GD) proposto por Cambardella et al. (1994) o qual pode ser obtido pela (**Equação 2**):

$$GD = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad 2$$

A classificação da dependência espacial é qualificada em três graduações, forte se GD < 25%; moderada para GD entre 26% e 75%; e fraca para GD > 75%.

E para a interpolação dos dados foi utilizada a técnica da Krigagem que estima valores em locais onde não foram observados. O software utilizado para interpolação e confecção dos mapas foi Surfer 10 (Copyright (c) 2010 Golden Software, Inc.).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos parâmetros geoestatístico das variáveis estudadas mostram que obedecem a uma dependência espacial sendo possível o estudo através de mapas de resposta (**Tabela 2**).

Na (**Figura 1**), mostra o mapa de produtividade de resina em comparação com o de textura obtendo uma boa correlação com esse atributo (**Tabela 1**). Nesse mapa podemos observar a maior produção de resina está na região onde a fração argila é predominante e as menores produtividades estão localizadas onde a fração areia tem um maior predomínio. Essa condição de produtividade é relacionada com a melhoria da estrutura do solo que a fração argila proporciona. Segundo Ferreira, (2010) os Latossolos embora apresente uma textura muito argilosa, são muito permeáveis à água, reflexo de uma elevada macroporosidade. Desta forma a

possibilidade de ter uma maior disposição de nutrientes e água para planta será mais efetiva, obtendo assim maiores produtividades. Esse resultados foram encontrados também por Rigatto, (2005) onde em solos com textura mais argilosa independente da classe a que pertençam proporcionaram maiores produtividades de *Pinus taeda* na produção na madeira.

Outra influência importante observada na produtividade de resina foi a umidade do solo. Em áreas com maior umidade independente da camada estudada ocorre forte correlação com produtividade, ou seja, nestas áreas a produtividade é maior em relação a áreas com um menor teor de água no solo, sendo que as camadas que apresentaram uma maior influência na produção de resina foram de 0-20 e 40-60 cm (**Figura 2**).

Em relação aos outros atributos índice de cone (IC), índice de estabilidade (IE), índice de floculação (IF), argila dispersa em água (ADA) e silteos mapas de resposta não apresentaram nenhum padrão que fosse semelhante na produção de resina.

Tabela 1. Correlação linear entre os atributos do solo e a produtividade de resina

	Resina	ADA	Argila	Silte	Areia Total	IF	IE	U020	U2040	U4060	IC060	IC020	IC2040	IC4060
Resina	1,00													
ADA	0,22	1,00												
Argila	0,15	0,90**	1,00											
Silte	0,06	0,44*	0,36*	1,00										
Areia Total	-0,15	-0,90**	-0,95**	-0,62**	1,00									
IF	-0,13	-0,28	0,15	-0,21	-0,06	1,00								
IE	-0,07	-0,19	-0,39*	-0,42*	0,46**	-0,44*	1,00							
U020	0,72**	0,43*	0,31	0,33	-0,36*	-0,21	-0,02	1,00						
U2040	0,67	0,20	0,07	0,18	-0,12	-0,19	0,16	0,68**	1,00					
U4060	0,50**	0,01	-0,14	-0,12	0,16	-0,24	0,37*	0,60**	0,59**	1,00				
IC060	-0,17	0,00	-0,02	0,47**	-0,13	-0,06	-0,31	-0,14	-0,08	-0,16	1,00			
IC020	-0,10	0,07	0,09	0,50**	-0,24	0,03	-0,50*	-0,17	-0,21**	-0,39	0,77*	1,00		
IC2040	-0,26	0,11	0,07	0,36*	-0,18	-0,11	-0,20	-0,15	-0,16	-0,15	0,90	0,63**	1,00	
IC4060	-0,09	-0,09	-0,12	0,43*	-0,03	-0,06	-0,23	-0,08	0,05	0,002	0,92	0,55**	0,72**	1,00

ADA= argila dispersa em água; IF= índice de floculação; IE= índice de estabilidade; U020= umidade (0 -20cm); U2040= umidade (20-40cm); U4060= umidade (40-60cm); IC060= índice de cone (0-60cm); IC020= índice de cone (0-20cm); IC2040= índice de cone (20-40cm), IC4060= índice de cone (40-60cm). *significante a 5%; **significante a 1%.

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 físico.

A umidade do solo e a textura foram os atributos que mais influenciaram a produtividade de resina *Pinus elliottii*.

REFERÊNCIAS

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A. Atributos Físicos e Químicos do Solo e sua Relações com o Crescimento e a Produtividade do *Pinus taeda*. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo-PR, n.53, p.21-38, jul/dez. 2006

BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L.A.P.; TAYLOR, J.S. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de. Ciência do Solo, 5:145-149, 1981.

CAMBARDELLA, C.A. et al. 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 Aplicadas à Agricultura. Em: <http://www.cpa.unicamp.br/outrasinformacoesclima_mun_i_258.html>. Acessado em 10 de novembro de 2012.

DEDECEK, R. A.; NAMIKAWA, I. S. F.; SPELTZ, R., LIMA, L. C. S. Influência do Sítio do desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1 Características Físico-hídricas e Químicas do Solo. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul/set 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPq, 1997, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In LIER, Q. J. V. Física do Solo; Viçosa-Mg: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, p. 1-28.

IPF. Fatores que Influem na Resinagem de *Pinus*. In: Seminário: Resina de *Pinus* Implantados no Brasil. 1978, Piracicaba – SP. Circular Técnica nº27, ESALQ – USP.

RIGATTO, P. A.; DEDECK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos Atributos do Solo sobre a Produtividade de *Pinus taeda*. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

SANDS, R.; GREACEN, E. L.; GERARD, C. S. Compactions of sandy soils in radiata pine forests. I. A penetrometer study. Australian Journal of soil Research, v. 17, n. 1, p. 101-103, 1979

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.

Tabela 2. Parâmetros da análise semivariográfica dos atributos físico-mecânicos do solo e produtividade de resina

Variável	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	AIC	GD	Classe
Produção							
Resina	Esférico	0,57	0,31	205,9	-38,3	0,65	Moderado
Atributos Físicos							
U (0- 20cm)	Esférico	0,0005	0,0009	216,90	-189,2	0,36	Moderado
U (20 - 40cm)	Esférico	0,0007	0,0005	180,30	-245,1	0,58	Moderado
U (40 - 60cm)	Esférico	0,0005	0,0005	261,00	-257,6	0,50	Moderado
IC (0 - 20 cm)	Esférico	0,00	5000	31,76	172,7	0,00	Forte
IC (20 - 40cm)	Exponencial	50000	50000	31,00	163,7	0,50	Moderado
IC (40 - 60cm)	Exponencial	50000	50000	37,40	249,3	0,50	Moderado
IC (0 - 60cm)	Esférico	50000	50000	159,30	594,2	0,50	Moderado
ADA	Exponencial	48,98	2861,8	64,74	243,5	0,02	Forte
Argila	Esférico	1557,6	5381,2	260,80	244,5	0,22	Forte
Silte	Exponencial	257,2	248,4	47,15	190,6	0,51	Moderado
Areia Total	Esférico	1421,6	8031,6	231,50	262,5	0,15	Forte
IF	Esférico	67,01	41,62	130,70	149,6	0,62	Moderado
IE	Esférico	0,4829	0,04589	98,87	-35,41	0,91	Fraco

C₀= efeito pepita; C₁= variância estruturada; GD= grau de dependência espacial; a= alcance em metros; U=umidade gravimétrica; IC=índice de cone; ADA=argila dispersa em água; IE=índice de estabilidade; IF=índice de floculação.

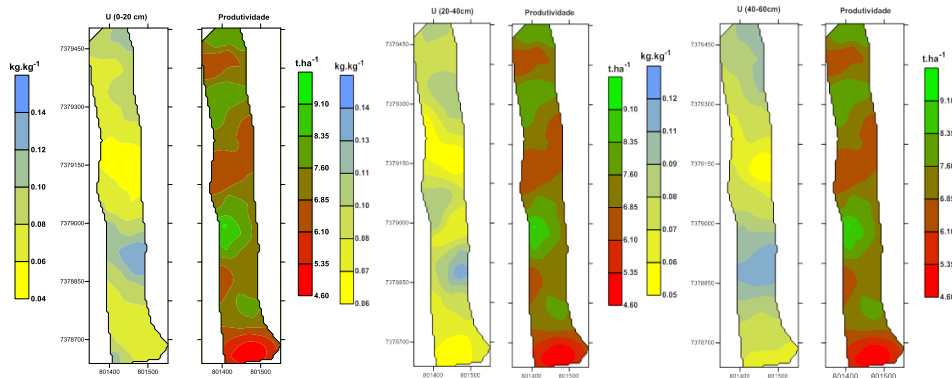


Figura 1. Mapas de Umidade das camadas 0-20, 20-40 e 40-60cm em comparação com o mapa de produtividade

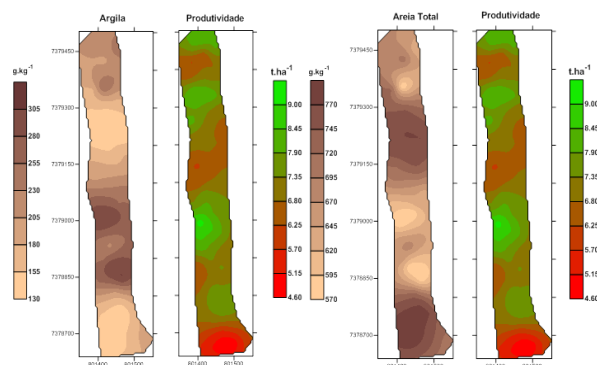


Figura 2. Mapas de Textura (Argila/Areia), em comparação com o mapa de produtividade.