

Avaliação da estrutura espacial de um povoamento de *Pinus* sp. com o uso de SIG e da geoestatística

Fábio Rodrigues Spiazzi¹
Sandrigo Cardoso Borges¹
Camile Sothe¹
Silvio Luís Rafaeli Neto¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UEDESC
Av. Luis de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro 88520-000 - Lages – SC, Brasil
Maxplus2007@yahoo.com.br, sandrigoc@yahoo.com.br, kmilinha@yahoo.com.br,
a2sn@cav.udesc.br

Abstract. The spatial pattern of trees in a reforestation is influenced by various environmental factors. Some biotic variables such as DBH and height, directly reflect these factors. The geostatistical method using the theory of regionalized variables, unlike classical statistics, can better assess the structure of spatial dependence between variables. This study was done in an area of non managed reforestation of *Pinus* sp. in Centro de Ciências Agroveterinárias, campus of UEDESC in Lages / SC. The trees were sampled and evaluated for diameter at breast height (DBH) and height. The objective was to evaluate the spatial distribution of these variables in a reforestation, and to test the geostatistics as a tool to aid forest planning. Dendrometric data were collected through a forest inventory of 173 individuals in an area of 0.65 ha. The results obtained from the semivariograms show the character of continuity of the variables. The models that provided the best fits for DBH and height were, respectively, spherical and exponential, allowing the making of the kriged maps. In general, we can conclude that knowledge of spatial structure in an inventory analysis can provide more reliable and accurate results, and can be used for forest management planning.

Palavras-chave: forest management, semivariogram, reforestation, spatial distribution, manejo florestal, semivariograma, reflorestamento, distribuição espacial.

1. Introdução

Uma característica marcante em área reflorestada é a sua aparente homogeneidade; contudo, é freqüente a observação de variações significativas ao longo do plantio. Essas variações podem ser devidas a vários fatores, dentre eles o solo, a topografia, as variações na prática silvicultural de plantio e outros. O conhecimento dessas variações é importante para o inventário e o manejo florestal. É usual a adoção de um valor médio, suposto representativo, obtido de uma amostra (conjunto de parcelas), para caracterizar o estado atual e temporal da variável de interesse dentro da floresta. De acordo com Mello et al. (2005) essa variabilidade espacial pode, muitas vezes, afetar de forma marcante a qualidade das estimativas obtidas pelo inventário. Dessa forma, uma análise estatística levando em consideração a distribuição no espaço é fundamental para a avaliação do comportamento das variáveis dendrométricas.

Segundo Mello (2004), os métodos tradicionais usados para análise de inventários florestais utilizam uma medida de tendência central (média) e uma de dispersão (variância) para descrever um determinado fenômeno, sem levar em consideração as possíveis correlações entre as observações vizinhas. Portanto, eles não exploram suficientemente as relações que possam existir entre as unidades amostrais. Já os métodos geoestatísticos podem avaliar melhor as estruturas de dependência espacial entre as características dendrométricas de uma espécie e as variáveis do seu meio físico, ou seja, obter resultados que sejam capazes de explorar adequadamente as relações espaciais existentes entre os dados dendrométricos e o meio abiótico. Bognola et al. (2008) ressalta que isso é de fundamental importância para o inventário, o manejo e o planejamento florestal.

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das

sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Camara et al. (2001) relata que com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade deste século, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, o que deu origem ao Geoprocessamento. Segundo Silva e Meirelles (2007), a análise de diversas situações ambientais (situações de riscos, de potenciais de uso, de necessidades de proteção, de impacto, de ordenamento geoeconômico, de zoneamento ambiental, entre outras) permite caracterizar um ambiente de forma diretamente voltada para a utilização racional dos recursos físicos, bióticos e socioeconômicos nele disponíveis.

Conhecer como o ambiente funciona é mais valioso do que apenas saber como ele se parece, por que tal conhecimento pode ser usado para se fazer previsões. Longley et al. (2002) aponta que os SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) são os responsáveis por prover as ferramentas para que isso seja possível. Dentre as ferramentas disponíveis nos SIGs para análise e organização de dados espacializados, o módulo geoestatístico possibilita tratar os dados que possuam algum grau de continuidade e avaliar a estrutura de dependência espacial que é condicionada a fatores bióticos e abióticos do meio. Sendo assim, confirmando-se tal continuidade e dependência, a combinação de SIG com a Geoestatística torna-se um importante aliado na produção de mapas de probabilidade de ocorrência de determinado fenômeno. O uso desses recursos não somente está associado à geração de mapas, mas também ao planejamento da colheita, implantação e condução de povoamentos florestais.

Os métodos geoestatísticos representam bem o conhecimento da variação espacial de uma propriedade, possibilitando a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, por considerarem a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem. Além disso, esse estudo pode ser feito em áreas de quaisquer tamanhos, abrangendo diversas características dendrométricas. Dessa forma, o uso de procedimentos geoestatísticos, engloba a análise exploratória, a geração e a modelagem de semivariogramas, validação do modelo e a aplicação dos parâmetros deste modelo em algoritmos de interpolação espacial baseados na krigagem. Resultam deste modo, mapas representativos da variabilidade espacial, a partir de amostras georreferenciadas obtidas na amostragem (Burrough, 1987).

O objetivo deste trabalho foi avaliar técnicas de geoestatística baseadas na krigagem para geração de mapas representativos da distribuição espacial do DAP e altura, como ferramenta de apoio ao planejamento florestal; bem como a utilização de um SIG na construção de um banco de dados geográficos.

2. Metodologia de Trabalho

O trabalho foi realizado em uma área de reflorestamento não-conduzido de *Pinus* sp. no Centro de Ciências Agroveterinárias, campus da UDESC em Lages/SC (Figura 1), onde a altitude média é de 940 m, a temperatura média anual de 15,6°C e a média de precipitação pluviométrica anual de 1.408 mm (IBGE, 2009). As árvores de pinus, possuindo idades na faixa de 25 a 30 anos, foram amostradas e avaliadas quanto ao diâmetro na altura do peito (DAP) e altura.

Os dados dendrométricos foram coletados na sua totalidade do povoamento, constituindo um inventário florestal sobre 173 indivíduos, em uma área de 0,65 ha. Os dados de altura e DAP foram obtidos a campo com clinômetro eletrônico digital Haglof Sweden Professional© e suta de precisão centimétrica Mantax© respectivamente. Os indivíduos foram georreferenciados com estação total Leica, modelo TCR 305, a partir de uma base topográfica implantada com receptor GPS L1, em pós-processamento, vinculada ao Sistema Geodésico Brasileiro. A análise espacial foi conduzida utilizando o módulo geoestatístico do software SPRING© 4.3.3 e a elaboração cartográfica realizada no software ArcView© versão 9.3.

As amostras georreferenciadas foram editadas em arquivos *.SPR* do tipo POINT3D e importadas no SPRING na categoria MNT. Foi editado um arquivo para cada atributo medido que, após importado, foi armazenado em PIs (planos de informação) próprio. Para produzir os mapas de variabilidade espacial, os semivariogramas foram gerados, os modelos teóricos foram ajustados e validados e a krigeagem realizada para cada PI. Posteriormente, os dados foram exportados em formato raster e vetorial para tratamento no Arcview[®] e elaboração dos mapas temáticos com 3 classes de intensidade para cada variável (Tabela 1). Ainda no ArcView[®] utilizou-se também uma metodologia de tabulação cruzada (ferramenta tabulate area), que consiste na sobreposição dos diferentes planos de informação (layers), resultando em uma tabela (Tabela 3) a qual serviu como base para verificar a existência de correlação espacial entre os atributos.

Para se qualificar o grau de dependência espacial das variáveis foi utilizado o método de Cambardella et al. (1994), pelo qual a dependência espacial é forte quando o efeito pepita (C_0) é menor ou igual a 25% do patamar ($C_0 + C_1$) do semivariograma respectivo; moderada quando está entre 25% e 75%; fraca quando é maior ou igual a 75%.

Tabela 1. Tabela de classes de DAP e altura.

Classes	DAP (cm)	Classes	Altura (m)
Alto	[47,39 - 56,47]	Alto	[22,88 - 26,84]
Médio	[33,78 - 47,39]	Médio	[20,96 - 22,88]
Baixo	[20,16 - 33,78]	Baixo	[19,00 - 20,96]

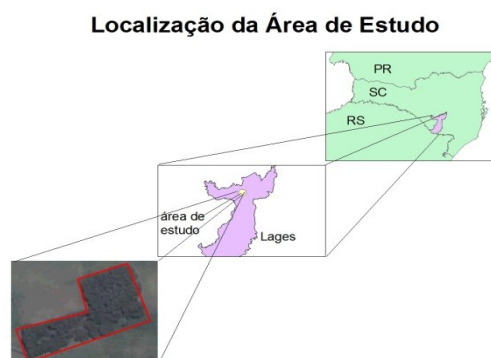


Figura 1. Localização da área de estudo.

3. Resultados e Discussão

Com base nos resultados obtidos nas análises geoestatísticas foi possível gerar os semivariogramas para as variáveis dendrométricas estudadas e dessa forma expressar o grau de continuidade dos dados em determinada direção. A Figura 2 ilustra os semivariogramas, para os quais foram ajustados para DAP e altura respectivamente, o modelo esférico e o exponencial. Esses dois modelos foram os que melhor representaram os dados. Segundo os valores da dependência espacial que podem ser observados na Tabela 2, as dependências classificaram-se em forte (DAP) e moderada (Altura).

A intensidade de ocorrência das variáveis estudadas deu-se na direção de 90° e 0° respectivamente para DAP e altura. O critério de escolha do modelo de ajuste do semivariograma foi o coeficiente de Akaike: -39,199 (DAP), -60,317 (Altura) e coeficiente de determinação (R^2).

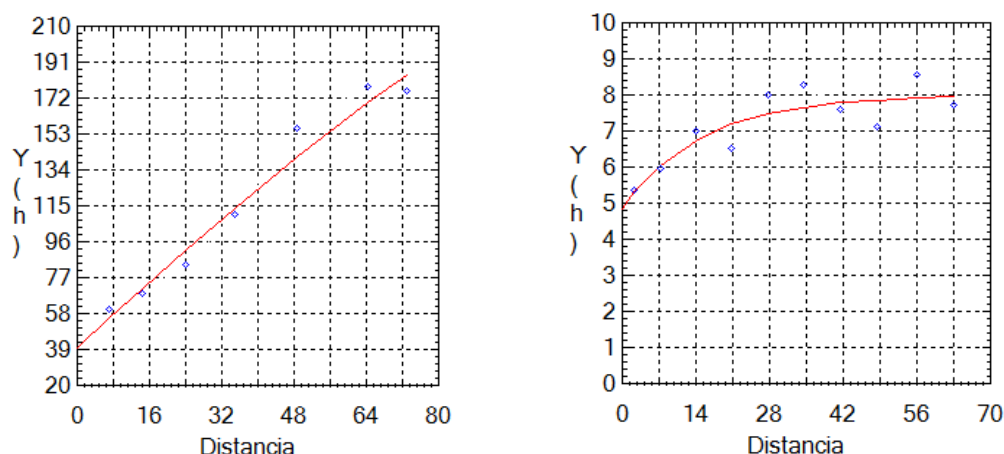


Figura 2. Semivariogramas ajustados para DAP e altura, respectivamente.

Tabela 2. Estrutura de dependência espacial das variáveis DAP e altura do pinus.

Componentes	DAP	Altura
Efeito pepita (C0)	39,644	4,832
Modelo Ajustado	Esférico	Exponencial
Contribuição (C1)	214,476	3,146
Alcance (a)	150,723	46,722
Patamar (C0+C1)	254,12	7,978
Akaike	-35,199	-60,317
Direção	90°	0°
C0/C0+C1	0,156	0,605
Dependência Espacial	Forte	Moderada
R ²	0,95	0,85

Como produto dos semivariogramas, confeccionou-se os mapas da área em relação ao DAP e altura separados por 3 classes (alto, médio e baixo) (Figura 3 e Figura 4). Na Figura 3, notam-se altos valores de DAP em uma das bordas do talhão e médios no restante, os diâmetros classificados como baixo concentraram-se apenas em um local do povoamento (legenda em vermelho), o que pode indicar um setor do povoamento com certa limitação dos recursos responsáveis pelo desenvolvimento das árvores.

Vale ressaltar que o povoamento é não-conduzido, portanto não houve nenhuma prática de manejo como poda, desbaste, espaçamento adequado ou adubação desde que o povoamento foi estabelecido. Trata-se de uma área de estudos, onde diversas atividades didáticas são realizadas. Este trabalho ressalta a importância de se ter um manejo adequado, visto que geralmente o objetivo de um reflorestamento de pinus é comercial, logo, se preza por uma uniformidade das variáveis dendrométricas, reduzindo custos e resíduos na hora do beneficiamento da madeira e conseqüentemente aumentando-se o rendimento.

Para a altura, o mapa apresentou comportamento semelhante ao do DAP, as maiores alturas novamente concentraram-se em apenas uma das bordas, o que ressalta a correlação entre DAP e altura dessa espécie. Os valores classificados como baixo ficaram em maior evidência que os classificados como baixo do DAP, porém manteve-se ainda certa sobreposição entre as variáveis, o que pode ser confirmado pela tabulação cruzada, Tabela 3.

A explicação para a não homogeneidade do povoamento pode estar no fato do mesmo não ser conduzido. Notou-se no decorrer do levantamento dos dados a presença de clareiras e algumas árvores mortas, o que é um indicativo de perturbação da área e também local

favorável ao desenvolvimento de espécies pioneiras oportunistas, que ao longo do tempo podem a vir a competir com o pinus por recursos.

Mapa da Krigagem Simples de DAP - Modelo Ajustado (Esférico)

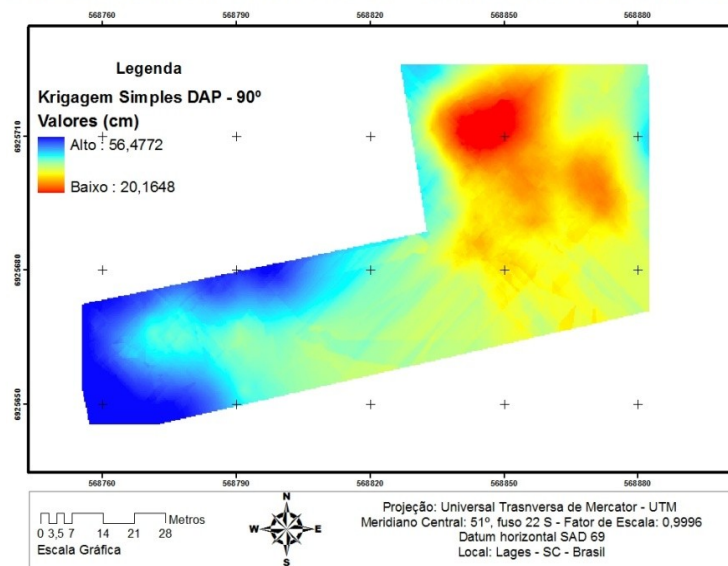


Figura 3. Mapa de krigagem simples de DAP (cm) – direção: 90°.

Mapa da Krigagem Simples de Altura - Modelo Ajustado (Exponencial)

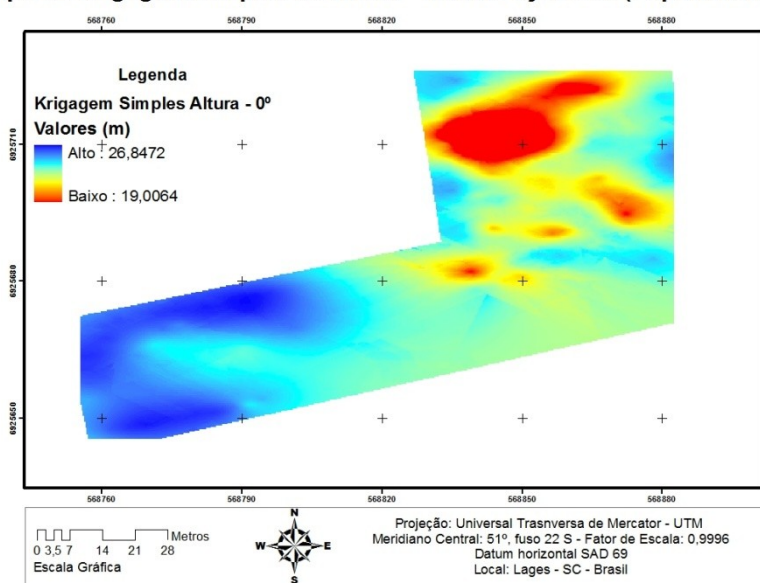


Figura 4. Mapa de Krigagem simples de Altura – direção: 0°.

Os resultados da tabulação cruzada podem ser observados na tabela 3. Fica evidente a correlação entre as variáveis mensuradas, principalmente na classe mediana, chegando a mais de 66% de sobreposição, já na classe baixo, 11,3% e na classe alto 8,3%. Nota-se também que a distribuição das sobreposições entre as variáveis, aproxima-se de uma distribuição normal, onde a maioria dos valores está concentrada ao redor dos valores da média e existem poucos valores classificados como baixo e poucos classificados como altos.

Tabela 3. Tabulação cruzada entre DAP e altura – sobreposição de área em percentagem (%).

DAP/Altura	Baixo	Médio	Alto	Total
Baixo	11,34	7,13	0,00	18,47
Médio	0,28	66,08	2,20	68,56
Alto	0,00	4,62	8,35	12,97
Total				100,00

4. Conclusão

Com o uso da geoestatística como ferramenta de análise foi possível a geração de mapas de probabilidade, que demonstraram o grau de relação entre os dados mensurados, os quais podem possibilitar uma análise mais precisa de uma área reflorestada que não sofreu qualquer tipo de intervenção do ponto de vista de manejo. As áreas de planejamento, colheita e manejo florestal são as mais beneficiadas com a geração de um banco de dados geográfico, que possibilitam um maior controle das ações e das tomadas de decisão. Pela tabulação cruzada dos dados pode-se observar a taxa de sobreposição entre as variáveis, que denota, no caso de reflorestamento, se existe uma relação direta entre DAP e altura do pinus.

Referências Bibliográficas

- Bognola, I. A. ; Ribeiro júnior, P. J.; Silva, E. A. A.; Lingnau, C.; Higa, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, PR, v.38, n.2, p.373-385, 2008.
- Burrough, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Clarendon Press, 1987.
- Câmara, G. *et al.* Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001.
- Cambardella, C. A. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 58, n.5, p. 1501-1511, 1994.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> acesso em 01 junho de 2010.
- Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. Applied geostatistics. Oxford University Press, 1989. p. 375.
- Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J.; Rhind, D. W. **Geographic Information System and Science**. London, UK, 2002. 453p.
- Mello, J. M. de; Batista, J. L. F.; Oliveira, M. S. de; Ribeiro júnior, P. J. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. Cerne, Lavras, v.11, n.2, p.113-126, 2005.
- Mello, J. M. Geoestatística aplicada ao inventário florestal. 2004. 122 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- Silva, J. X.; Meirelle, M. S. P. Geoprocessamento em Estudos Ambientais. In: MEIRELLES, M. S. P. Geomática: modelos e aplicações ambientais. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p.23-24.