



## MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DOS SORTIMENTOS VOLUMÉTRICOS EM POVOAMENTOS DE *Pinus sp.*

André Zaruch Calixto<sup>1</sup>, Allan Libanio Pelissari<sup>2</sup>, Marcelo Roveda<sup>3</sup>, Nelson Yoshihiro Nakajima<sup>2</sup>

1. Engenheiro Florestal na empresa Grupo Index, Curitiba - PR, Brasil. E-mail: andre.calixto@indexflorestal.com.br
2. Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba - PR, Brasil.
3. Aluno de Doutorado da Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba - PR, Brasil.
4. Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba - PR, Brasil.

Recebido em: 15/04/2017 – Aprovado em: 22/07/2017 – Publicado em: 31/07/2017  
DOI: 10.18677/Agrarian\_Academy\_2017a33

### RESUMO

A geoestatística é uma ferramenta que auxilia a compreender o comportamento espacial de uma determinada variável, permitindo que decisões sejam tomadas de acordo com a necessidade de cada local. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo espacializar, modelar e mapear os padrões espaciais do estoque volumétrico de povoamentos de *Pinus sp.* no município de Tunas do Paraná, estado do Paraná, Brasil. A área do presente estudo possui 520 hectares, onde foram aleatoriamente alocadas 163 unidades amostrais em três estratos distintos em idades e tratos silviculturais, sendo coletadas as medidas dendrométricas de diâmetros e alturas. Posteriormente, por meio de uma função de afilamento, as estimativas de volume por hectare foram obtidas por sortimento para cada parcela. Após essa etapa, os estoques volumétricos foram espacializados pela modelagem geoestatística por meio do semivariograma. O modelo Gaussiano apresentou o melhor ajuste, de acordo com os parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação e soma de quadrados dos desvios ponderados, e validação cruzada. A partir da modelagem dos semivariogramas, a interpolação pelo método da krigagem ordinária foi efetuada para os sortimentos, o que resultou em mapas temáticos com padrões espaciais distintos entre si, com maior heterogeneidade para os sortimentos intermediários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Krigagem ordinária, semivariograma, variabilidade espacial.

### GEOSTATISTICAL MODELING OF VOLUME ASSORTMENTS IN *Pinus sp.* STANDS

#### ABSTRACT

Geostatistics is a tool that helps to understand the spatial behavior of a variable, allowing decisions to be made according for local necessity. Thus, the objective of this paper was to spatialize, model and map the spatial patterns of volume stock in *Pinus sp.*

stands in the municipality of Tunas do Paraná, Paraná State, Brazil. The study area has 520 hectares, where 163 sampling units were randomly allocated in three strata diverse in ages and silvicultural treatments and, also, diameters and heights measures were collected. Subsequently, through a taper function, the estimates of volume per hectare were obtained for assortment for each sampling units. After this step, the volumetric stocks were specialized by geostatistical modeling of semivariograms. The Gaussian model showed the best fit, according to the statistical parameters: coefficient of determination and sum of squares of the weighted deviations, and cross-validation. From the semivariogram modeling, the interpolation by ordinary kriging method was performed for the assortments, which resulted in thematic maps with different spatial patterns each other, showing the spatial dependence of them and the greater heterogeneity for intermediate assortments.

**KEYWORDS:** Ordinary kriging, semivariogram, spatial variability.

## INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus* é composto por mais de 90 espécies oriundas do hemisfério Norte, o qual foi introduzido no Brasil há mais de um século, porém, apenas a partir da década de 1960 com o estabelecimento de programas de reflorestamento, que se consolidou como uma espécie de importância econômica (ABRAF, 2013). A madeira de baixa densidade é muito usada na construção civil e na fabricação de móveis e, para isso, a quantificação de sortimentos de toras em diferentes classes de diâmetros é utilizada para o dimensionamento de determinado uso industrial e comercial, para as quais são atribuídos diferentes valores comerciais (ABRAF, 2013).

O *Pinus* é uma das mais difundidas essências florestais cultivadas no Brasil, especialmente na região Sul, representando um quinto de toda a área de produção florestal no país (ABRAF, 2013). O estado do Paraná possui cobertura de 6.742 km<sup>2</sup> de florestas plantadas, concentrando 42,4% das florestas de *Pinus* sp. no ano de 2014 (IBÁ, 2015). Dessa forma, o manejo dessa espécie se mostra uma atividade consolidada na economia e essencial para a obtenção de diversos produtos. Entender as características das variáveis dendrométricas dos plantios é um meio para diagnosticar problemas e identificar melhorias nos resultados de produtividade dos manejos (CAMPOS & LEITE, 2013; MACHADO & FIGUEIREDO, 2014).

Nesse sentido, para a melhoria da eficiência das atividades de gestão florestal, estimar e localizar as áreas de maior ou menor estoque por sortimento se mostra como importante fator para balizar o planejamento das operações em campo, pois, torna possível a realização do dimensionamento das atividades de maneira localizada, de forma a reduzir os custos e otimizar o fornecimento de matéria prima. Para isso, a geoestatística é uma ferramenta que auxilia a compreender o comportamento espacial de uma determinada variável, permitindo que decisões sejam tomadas de acordo com a necessidade de cada local (CAMPOS & LEITE, 2013).

Ao desenvolver a Teoria das Variáveis Regionalizadas, MATHERON (1971) verificou que a continuidade se deve à tendência de dados medidos espacialmente próximos terem valores semelhantes, havendo, dessa forma, uma determinada dependência espacial (PELLISSARI et al., 2017). Com isso, a geoestatística difere da estatística tradicional ao considerar a variabilidade de acordo com as distâncias entre os pontos medidos. O interpolador geoestatístico básico, que utiliza a técnica de

interpolação espacial para realizar as estimativas, é denominado de krigagem (SCOLFARO et al., 2016). Esse método é constituído por um processo de estimativa de médias móveis de valores variáveis, distribuídas no espaço por meio de uma função semivariograma (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

Um grande número de variáveis podem ser espacializadas e analisadas pela geoestatística (AKHAVAN et al., 2015). Como exemplo, pode-se citar RUFINO et al. (2006) e ROSA FILHO et al. (2011), que espacializaram e mapearam os padrões espaciais das respectivas variáveis dendrométricas: altura dominante, altura total média, área basal, diâmetro médio quadrático, número de fustes, e volume. De modo geral, esses autores obtiveram resultados positivos no que tange a dependência espacial entre os dados.

Diante do exposto, o presente trabalho visou espacializar, modelar e mapear os padrões espaciais do estoque volumétrico para os sortimentos de madeira de povoamentos de *Pinus* sp. localizados no município de Tunas do Paraná, no estado do Paraná. Considerando as informações acima, presume-se que a modelagem geoestatística seja eficiente para as estimativas dos volumes comerciais, as quais poderão apresentar padrões espaciais distintos entre si.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi realizado em uma propriedade rural de 520 hectares, dos quais 294 estão cobertos com povoamentos de *Pinus* sp., localizados no município de Tunas do Paraná, estado do Paraná, nas coordenadas UTM: Fuso 22S, N 7238500 E 707250, datum horizontal WGS-84. O clima na região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cfb, caracterizado por apresentar chuvas distribuídas ao longo do ano, sem estação seca, temperaturas acima de 22°C no mês mais quente e mais de cinco geadas noturnas por ano (ALVARES et al., 2013). A formação fitogeográfica no local é a Floresta Ombrófila Mista Montana (MAACK, 2012). Segundo EMBRAPA (2013), o solo predominantemente é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, exceto na porção Norte, onde encontra-se o tipo Cambissolo Háplico.

O povoamento foi dividido em três estratos distintos quanto às características de idade e de manejo (Figura 1), em que uma intensidade amostral foi determinada para cada estrato. O estrato 1 foi denominado de pinus novo, com dez anos sem desbastes e 42 unidades amostrais alocadas; o estrato 2, denominado de pinus adulto, com 30 anos sem desbastes e 56 parcelas; e o estrato 3, identificado como pinus manejado de 30 anos de idade, com desbastes e 65 unidades de amostra instaladas. Nesses povoamentos, parcelas circulares de 400 m<sup>2</sup> foram alocadas de forma aleatória, com base em coordenadas UTM pré-estabelecidas, e os diâmetros a 1,3 m de altura do solo ( $d$ ) e as alturas totais ( $h$ ) foram mensuradas.

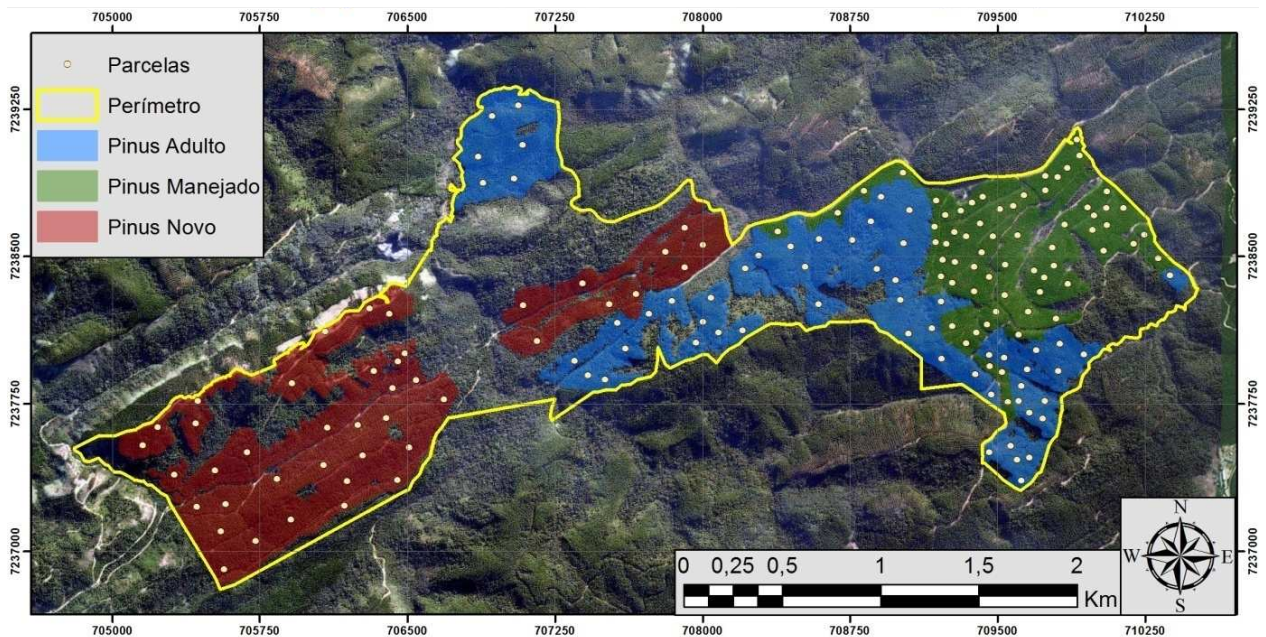


FIGURA 1. Localização dos povoamentos de *Pinus* sp. na área de estudo.

### Processamento dos dados

A função de afilamento do polinômio de quinto grau, calibrada a partir de dados de plantios com características semelhantes, foi utilizada para a estimativa de diâmetros ao longo do fuste dos indivíduos mensurados nas unidades amostrais. Posteriormente, via integração do sólido seccional do tronco e a rotação em torno do eixo das abscissas, os estoques volumétricos para os seguintes sortimentos foram estimados: toras de oito a 18 cm de diâmetro; de 18 a 25 cm de diâmetro; de 25 a 35 cm de diâmetro; e com mais de 35 cm de diâmetro, todos com comprimento de tora de 2,4 m.

Com a posse dos dados supracitados, iniciou-se a etapa da modelagem geoestatística, em que os semivariogramas experimentais (1) foram elaborados por meio da extensão GeoStatistical Wizards do *software* ESRI ArcGIS e os modelos Esférico (2), Exponencial (3), Gaussiano (4) e Circular (5) foram testados. A seleção dos melhores ajustes foi efetuada com base na menor soma de quadrados dos desvios ponderados (SQDP) e no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ); e na validação cruzada, pelo maior coeficiente de determinação da validação cruzada ( $R^2_{vc}$ ).

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

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{h}{A}\right) - \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{h}{A}\right)^3 \right] \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-h/A}) \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-h^2/A^2}) \quad (4)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{h}{A} \right) + \frac{2h}{\pi A} \sqrt{1 - \frac{h^2}{A^2}} \right] \quad (5)$$

em que:  $\gamma(h)$  = semivariância da variável  $Z(x_i)$ ;  $h$  = vetor de distância euclidiana;  $N(h)$  = número de pares de pontos medidos  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$ , separados por uma distância  $h$ ;  $C_0$  = efeito pepita;  $C$  = contribuição; e  $A$  = alcance.

A estrutura dos semivariogramas foi composta pelo efeito pepita ( $C_0$ ), que correspondeu à semivariância na distância zero e indicou a variação ao acaso; o patamar ( $C_0 + C$ ), que representou a estabilização dos valores do semivariograma; a contribuição ( $C$ ), que foi dada pela diferença entre o patamar ( $C_0 + C$ ) e o efeito pepita ( $C_0$ ); e o alcance ( $A$ ), que foi definido pela distância onde o semivariograma alcança o patamar e indicou o limite da correlação entre as unidades amostrais (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). Também foram calculados os graus de dependência espacial (6) conforme CAMBARDELLA et al. (1994), sendo classificados em forte, quando  $GD \leq 25\%$ ; moderado, entre  $25\% < GD \leq 75\%$ ; e fraco, se  $GD > 75\%$ , com a aplicação da seguinte formulação:

$$GD = \frac{C_0}{C_0 + C} \times 100 \quad (6)$$

em que:  $GD$  = grau de dependência espacial;  $C_0$  = efeito pepita; e  $C_0 + C$  = patamar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do emprego da função de afilamento do quinto grau, as seguintes estimativas médias de estoque volumétrico foram obtidas para os sortimentos avaliados:  $72 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o sortimento oito a 18 cm de diâmetro;  $145,08 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o sortimento 18 a 25 cm de diâmetro;  $171,84 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o sortimento 25 a 35 cm de diâmetro; e  $70,12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o sortimento maior que 35 cm de diâmetro. Dessa forma, na Tabela 1 são apresentados os parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas ajustados e selecionados para os sortimentos do volume comercial em povoamentos de *Pinus* sp. no município de Tunas do Paraná, estado do Paraná.

O efeito pepita ( $C_0$ ) representa a variância não explicada, a qual é ocasionada por erros ou variações que não podem ser identificadas (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). Assim, foram verificados valores de  $C_0$  entre 866,6 a 7.685,0 (Tabela 1), com o menor observado para o modelo Gaussiano no sortimento oito a 18 cm de diâmetro. Enquanto os valores de alcance ( $A$ ), com variação de 240 m a 2.391 m (Tabela 1), sugerem uma heterogeneidade espacial elevada e representaram as distâncias em que a utilização das análises geoestatísticas conduziram às estimativas com maior precisão, conforme indicação de CHIG et al. (2008). Ademais, a moderada dependência espacial foi corroborada pelos valores do grau de dependência ( $GD\%$ ), com valores superiores a 25% e inferiores a 45%.

**TABELA 1.** Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os sortimentos do volume comercial em povoamentos de *Pinus* sp.

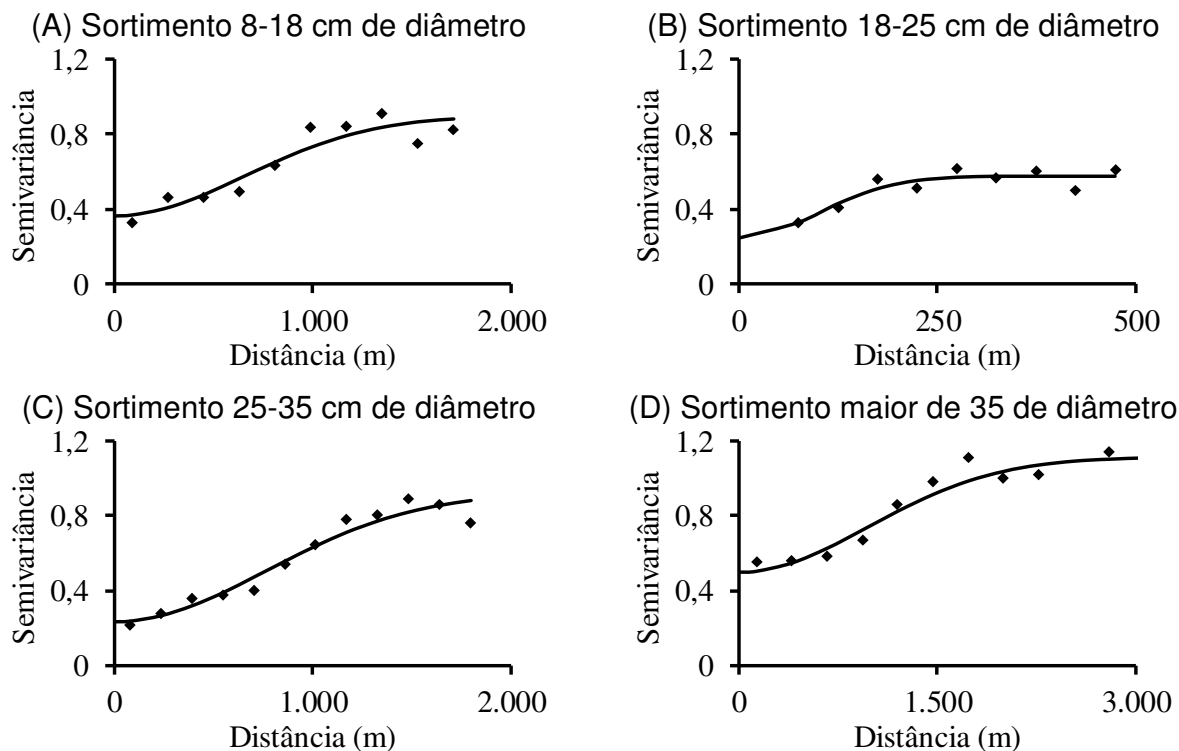
Variável	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A (m)	GD%	R <sup>2</sup>	SQDP
Sortimento de 8-18 cm	Gaussiano	866,6	2.148,2	1.600	40,34	0,881	24.860
Sortimento de 18-25 cm	Gaussiano	1.200,0	2.833,0	240	42,36	0,815	42.844
Sortimento de 25-35 cm	Gaussiano	2.925,0	11.685,0	1.876	25,03	0,950	978.804
Sortimento maior que 35 cm	Gaussiano	7.685,0	17.107,0	2.391	44,92	0,771	2.169.051

em que: C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>0</sub>+C = patamar; A = alcance; GD% = grau de dependência; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; e SQDP = soma de quadrados dos desvios ponderados.

Quanto à qualidade dos ajustes, os valores dos coeficientes de regressão (R<sup>2</sup>) dos semivariogramas foram superiores a 0,75 e inferiores a 0,95 (Tabela 1), em que o maior foi obtido pelo modelo Gaussiano no sortimento 25 a 35 cm de diâmetro, com R<sup>2</sup> de 0,95. Ao passo que as somas de quadrados dos desvios ponderados (SQDP) foram de 24.860 a 2.169.051, com o melhor resultado para o modelo Gaussiano no sortimento oito a 18 cm de diâmetro (Tabela 1).

Os semivariogramas escalonados obtidos para os sortimentos do volume comercial em povoamentos de *Pinus* sp. (Figura 2) apresentaram comportamento crescente até uma determinada distância, denominada de alcance (A). Essa tendência também foi observada por outros autores, tais como RUFINO et al. (2006) e ROSA FILHO et al. (2011) ao analisarem variáveis dendrométricas em plantios do gênero eucalipto, como circunferência à altura do peito, volume, altura dominante, altura total média, área basal, diâmetro médio quadrático, entre outras, os quais observaram dependência espacial para a maioria delas. Isso, segundo PEREIRA et al. (2011) indica a existência de correlação espacial, visto que as medições separadas pelas distâncias menores foram mais semelhantes e, com o aumento da distância, a semivariância estimada estabilizou-se em um valor regular.

Por meio da validação cruzada para os semivariogramas ajustados foi confirmada a seleção do modelo Gaussiano para a estimativa espacial dos sortimentos volumétricos nos povoamentos de *Pinus* sp. Isso deveu-se ao maior coeficiente de determinação da validação cruzada (R<sup>2</sup><sub>vc</sub>), igual a 0,619 para o sortimento oito a 18 cm de diâmetro; 0,494 para o sortimento 18 a 25 cm de diâmetro; 0,672 para o sortimento 25 a 35 cm de diâmetro; e 0,342 para o sortimento maior que 35 cm de diâmetro, o que foi um indicativo da maior acurácia para as estimativas em locais não amostrados na composição de mapas temáticos.

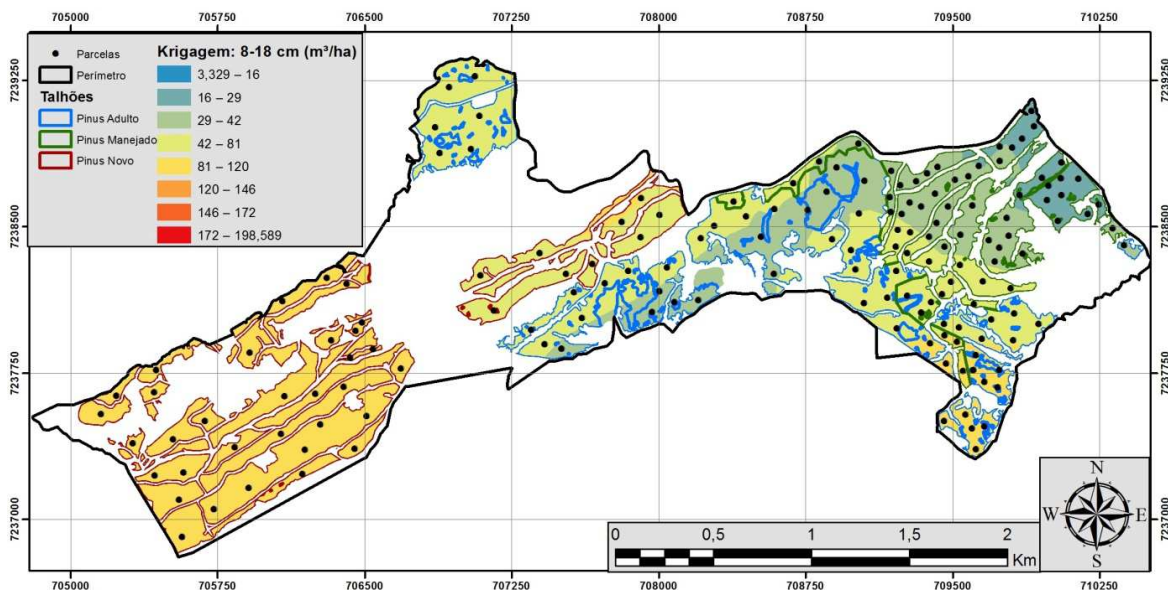


**FIGURA 2.** Semivariogramas escalonados para os sortimentos volumétricos nos povoamentos de *Pinus* sp.

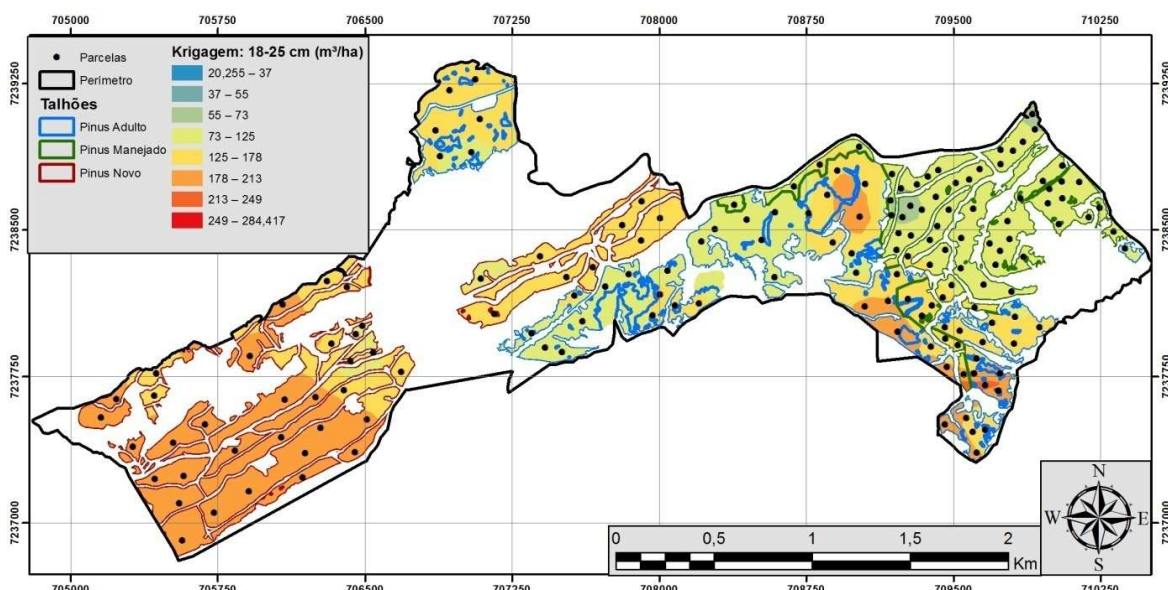
Nessas modelagens geoestatísticas, a consistência de um mapeamento é altamente dependente da qualidade dos dados e da precisão estatística dos modelos ajustados (BORSSOI et al., 2011), uma vez que os parâmetros dos semivariogramas são empregados para prever valores em locais não amostrados (PELLISSARI et al., 2014). Com isso, os mapas temáticos do volume comercial dos sortimentos foram confeccionados para os povoamentos de *Pinus* sp. (Figuras 3 a 6).

Assim, padrões espaciais distintos foram observados na espacialização dos estoques volumétricos, em que para o sortimento oito a 18 cm (Figura 3) foram verificadas as áreas com menor volume na porção ao Leste da propriedade, seguida pela região Norte, coincidindo com as áreas dos talhões compostos por indivíduos adultos. Esse resultado corroborou com o esperado, uma vez que pressupõe-se que os indivíduos de 30 anos apresentam menor estoque volumétrico dos sortimentos de menor diâmetro.

Para o sortimento 18 a 25 cm (Figura 4), a região Oeste da propriedade se destacou como a de maior volume, embora tenha apresentado maior heterogeneidade espacial, o que evidenciou o valor menor do parâmetro alcance (A) do semivariograma ajustado. Enquanto para o sortimento 25 a 35 cm (Figura 5), a porção Oeste, onde se encontra o povoamento mais jovem, apresentou os mais baixos de volume, o que indicou que poucos indivíduos atingiram o porte necessário para gerar produtos com essas dimensões.



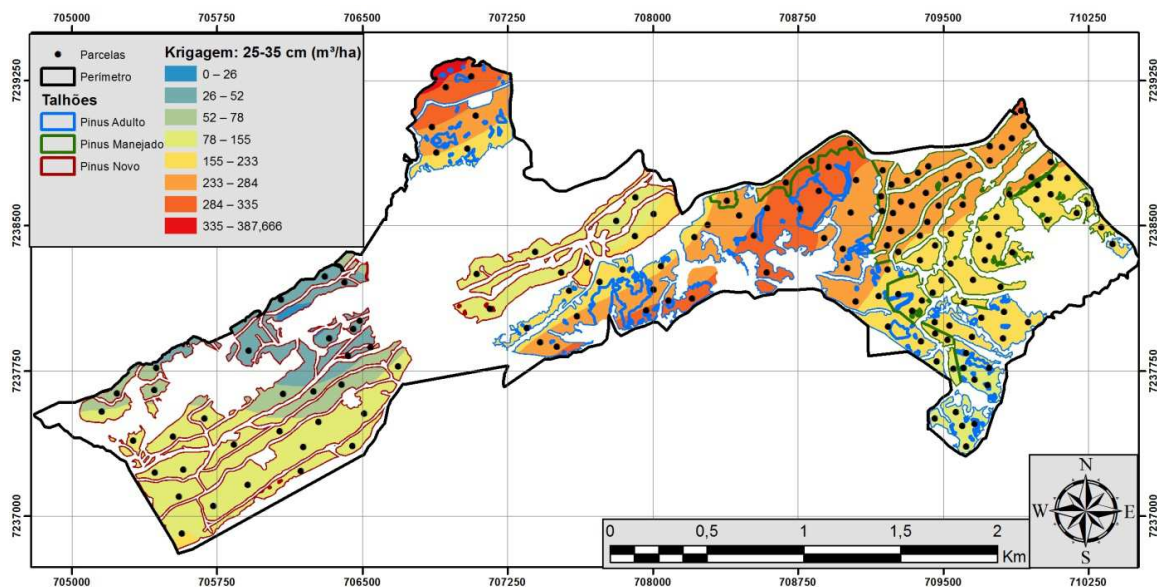
**FIGURA 3.** Distribuição espacial do sortimento 8-18 cm de diâmetro nos povoamentos de *Pinus* sp.



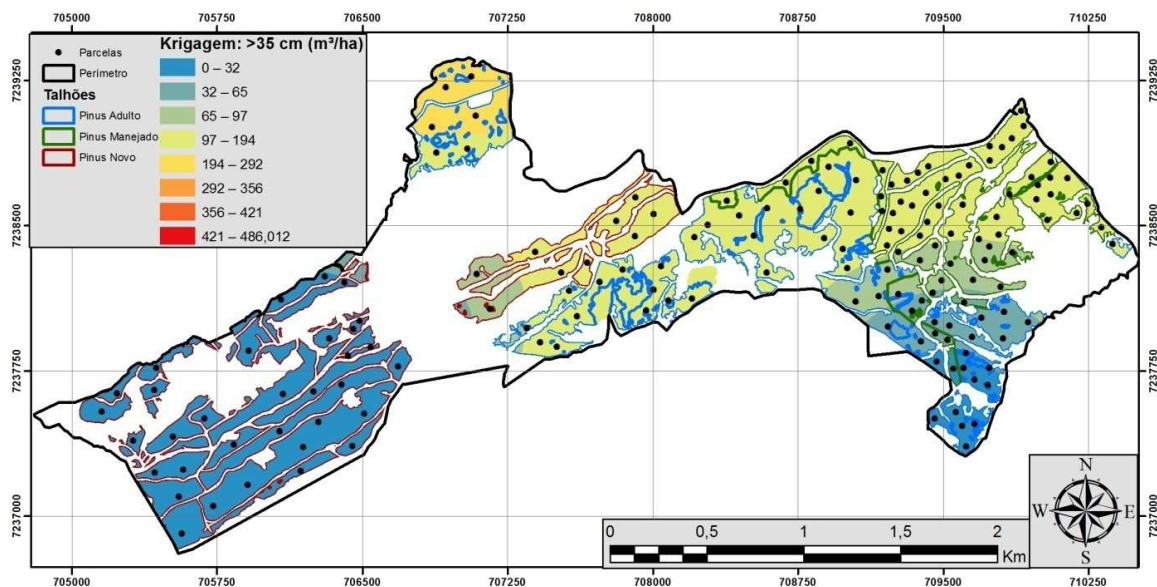
**FIGURA 4.** Distribuição espacial do sortimento 18-25 cm de diâmetro nos povoamentos de *Pinus* sp.

As porções Norte e Centro-Leste apresentaram os maiores volumes para o sortimento 25 a 35 cm (Figura 5), coincidindo com os povoamentos adultos manejados e não manejados, enquanto para o sortimento maior que 35 cm (Figura 6), a porção Norte se destacou por ser a região com maior estoque volumétrico, ao passo que a região Centro-Leste apresentou volumes baixos e a porção Oeste acarretou em resultados muito próximos a zero, por se tratar da área onde os povoamentos jovens foram implantados.





**FIGURA 5.** Distribuição espacial do sortimento 25-35 cm de diâmetro nos povoamentos de *Pinus* sp.



**FIGURA 6.** Distribuição espacial do sortimento maior de 35 cm de diâmetro nos povoamentos de *Pinus* sp.

Dessa forma, a aparente homogeneidade dos volumes comerciais foi contestada pela heterogeneidade espacial nos povoamentos de *Pinus* sp., o que resulta, de modo geral, da variabilidade em idade e em dimensão dos indivíduos, bem como dos tratamentos silviculturais aplicados. Dessa forma, o uso de valores médios não permite caracterizar a real variabilidade da produção das florestas e, por meio da combinação da análise geoestatística com os inventários florestais, a visualização da estrutura espacial dos plantios pode ser obtida.

## CONCLUSÕES

A aplicação da modelagem geoestatística permite identificar e mensurar os padrões espaciais do volume para os povoamentos de *Pinus* sp. e, com isso, é possível compor mapas temáticos para cada um dos sortimentos avaliados, identificando as áreas com distintos estoques volumétricos.

O volume por unidade de área se estruturou espacialmente, configurando a existência de dependência espacial e, portanto, torna a geoestatística aplicável.

Por meio dos mapas temáticos, padrões espaciais distintos são evidenciados, acarretando em heterogeneidade espacial maior para os sortimentos intermediários nos povoamentos de *Pinus* sp.

## REFERÊNCIAS

ABRAF – **Associação brasileira de produtores de florestas plantadas**: Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012. Brasília, 2013. 146 p.

ALVARES, C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507

AKHAVAN, R.; KIA-DALIRI, H.; ETEMAD, V. Geostatistically estimation and mapping of forest stock in a natural unmanaged forest in the Caspian region of Iran. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v. 13, n. 1, p. 61-76, 2015.

BORSSOI, J. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; GALEA, M. Técnicas de diagnóstico de influência local na análise espacial da produtividade da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 376-387, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000200018>>. doi: 10.1590/S0100-69162011000200018

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal. Perguntas e Respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2013. 605 p.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 715-722, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000400015>>. doi: 10.1590/S0044-59672008000400015

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**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

IBÁ - Indústria brasileira de árvores. **Relatório IBÁ 2015**. Brasília, 2015. 80 p. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2016.

MAACK, R. **Geografia física do estado Paraná**. 4 ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. 438 p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2 ed. Guarapuava: Unicentro, 2014. 316 p.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Fontainebleau: École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1971. 211 p.

PELISSARI, A. L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; CALDEIRA, S. F.; MACHADO, S. A. Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos florestais de teca, em períodos pré-desbaste seletivo, no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 32, n. 3, p. 430-444, 2014.

PELISSARI, A. L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PÉLLICO NETTO, S.; EBLING, A. A.; ROVEDA, M.; SANQUETTA, C. R. Geostatistical modeling applied to spatiotemporal dynamics of successional tree species groups in a natural Mixed Tropical Forest. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 1-7, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.044>>. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.02.044

PEREIRA, J. C.; MOURÃO, D. A. C.; SCALET, V.; SOUZA, C. A. M. Comparação entre modelos de relação hipsométrica com e sem componente espacial para *Pinus* sp. na FLONA Ipanema – SP. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p. 43-52, 2011.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; SILVA, J. M.; SIQUEIRA, G. M.; ZAMBIANCO, E. C. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 439-446, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000200027>>. doi: 10.1590/S0006-87052011000200027

RUFINO, T. M. C.; THIERSCH, C. R.; FERREIRA, S. O.; JUNIOR, H. K.; FAIS, D. Uso da geoestatística no estudo da relação entre variáveis dendrométricas de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e atributos do solo. **Ambiência**, v. 2, n. 1, p. 86-93, 2006.

SCOLFORO, H. F.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; MELLO, C. R.; MORAIS, V. A. Spatial interpolators for improving the mapping of carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of Atlantic forest and Savanna. **Forest Ecology and Management**, v. 376, p. 24-35, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.047>>. doi: 10.1016/j.foreco.2016.05.047

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos, 2013. 215 p.