

## INTERPOLADOR GEOESTATÍSTICO PARA ESTIMAR VOLUME NUM POVOAMENTO DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*, EM RIO VERDE/GOIÁS

LEAL, Fabrício Assis<sup>1</sup>  
MATRICARDI, Eraldo Aparecido Trondoli<sup>1</sup>  
MIGUEL, Eder Pereira<sup>2</sup>

Recebido em: 2013.04.12

Aprovado em: 2014.03.21

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.1021

**RESUMO:** Os métodos tradicionais de estatística aplicados em inventários florestais não exploram suficientemente as relações existentes entre as unidades amostrais. O presente estudo buscou comparar as estimativas de um interpolador geoestatístico em relação ao inventário florestal tradicional. A área de estudo envolveu um total de 116 hectares de *Eucalyptus urophylla* em Rio Verde/GO. Esta floresta, plantada em 2005, tem espaçamento 2,8 m x 1,8 m. Para este estudo foram amostradas 23 parcelas de 400 m<sup>2</sup> cada. Para avaliação do processo de interpolação foram utilizadas de forma aleatória 13 parcelas das 23 alocadas. As outras 10 parcelas foram utilizadas para validação da interpolação. Os resultados desta pesquisa indicam que não houve diferença significativa entre as estimativas feitas a partir da Krigagem Ordinária e do inventário florestal tradicional. Assim sendo, o método se mostrou eficiente para estimar o volume no povoamento florestal em estudo, podendo contribuir com muita eficiência na espacialização dessa variável.

**Palavras-Chave:** Eucalipto. Geoprocessamento. Krigagem Ordinária.

## GEOSTATISTICAL INTERPOLATOR TO ESTIMATE VOLUME IN A SETTLEMENT OF *Eucalyptus urophylla* LOCATED IN RIO VERDE/GOIÁS

**SUMMARY:** Traditional Statistical methods applied to forest inventories have not sufficiently assessed relationships among sampling units. This study intended to compare the resulting estimates derived from a geostatistical interpolator and from a traditional forest inventory. The study area encompassed a total of 116 hectares of *Eucalyptus urophylla*, located in Rio Verde/ GO, Brazil. This is a 6.5 years old forest, planted in 2005, with spacing of 2.8 mx 1.8 m. In this study, we sampled 23 plots of 400 m<sup>2</sup> each. Also, we randomly allocated 13 of 23 plots to assess the interpolator method. The remaining 10 plots were used to validate the interpolation results and to compare with data derived from the forest inventory. This research results indicate that the difference between Ordinary Kriging and traditional inventory estimates was not significantly different. Therefore, the method was successfully applied to estimate the volume in forest land and can potentially support volume estimation throughout an entire area of interest.

**Keywords:** Eucalypts. Geoprocessing. Ordinary Kriging.

## INTRODUÇÃO

A base para o planejamento e uso dos recursos florestais é o conhecimento quantitativo e qualitativo do maciço florestal. Esse conhecimento é adquirido por meio de inventários florestais, para os quais cada vez mais são exigidas atualizações de registros e mapas com informações espacializadas de interesse. Nesse sentido, o geoprocessamento constitui ferramenta com boas alternativas de técnicas e subsídios para sistematizar informações oriundas de várias fontes diferentes,

<sup>1</sup> UnB - Universidade de Brasília

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

integrando base de dados georreferenciados, monitoramento e atualizações com diferentes tipos de informações, espacializadas ou não, de um maciço florestal (SOUZA et al., 2007).

As estatísticas com métodos tradicionais aplicados em análise de inventários florestais baseiam-se numa medida central (média) e numa medida de dispersão (variância), com o intuito de descrever um determinado acontecimento ou fenômeno, não considerando as prováveis correlações entre observações vizinhas (MELLO, 2004).

Portanto, esses métodos estatísticos tradicionais aplicados aos inventários florestais não conseguem explorar profundamente a distribuição espacial e as relações que possam existir entre as unidades amostrais.

A Krigagem é um método geoestatístico de interpolação que envolve, com boa estimativa e predição de superfícies, um conjunto de técnicas baseadas numa estrutura de correlação espacial. Com isso, fornece estimativas não tendenciosas, ou seja, a diferença entre os valores que foram estimados em relação aos observados, no mesmo ponto, não deve ser nula; e com variâncias mínimas. Assim, estes estimadores possuem a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos (DRUCK et al., 2004).

O objetivo deste trabalho foi verificar se o interpolador geoespacial Krigagem pode ser utilizado para estimar o volume de madeira em florestas plantadas a partir de dados de inventários florestais tradicionais e qual é a precisão de estimativas do volume para um povoamento florestal de interesse.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos numa propriedade participar localizada no município de Rio Verde, Estado de Goiás. Este município está localizado no sudoeste goiano, em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, com 6,5 anos de idade, plantado no espaçamento de 2,8 x 1,8 m, pertencente à Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano – COMIGO. A área de estudo está localizada entre os paralelos 18° 00' 45'' e 18° 01' 45'' de latitude Sul e entre os meridianos 50° 52' 45'' e 50° 53' 15'' de longitude Oeste. A área de estudo envolveu 116 hectares no total, dividida em sete (7) talhões. A altitude média é de 685 metros,

O clima, segundo a classificação de KÖPPEN, é do tipo Aw, tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, que corresponde ao outono e inverno, indo do mês de maio ao mês de setembro e a outra úmida, com chuvas torrenciais, correspondendo ao período de primavera e verão. A precipitação média anual varia de 1200 a 1500 mm, com média anual em torno de 1300 mm e temperaturas médias em torno de 20° a 25°C.

A área foi subdividida em parcelas de 400 m<sup>2</sup>, sorteadas aleatoriamente e amostradas a cada cinco hectares. O inventário florestal serviu de base para estimar o volume de madeira (m<sup>3</sup>/parcela) em todas as unidades amostrais e para esse procedimento o erro máximo admissível foi de 10%.

Nessas parcelas foi mensurado o DAP de todos os indivíduos vivos por meio de suta. Para a variável altura total (HT) foram consideradas apenas as árvores cubadas rigorosamente, pelo método de Hohenadl em 10 seções.

Para a verificação do erro admissível no inventário florestal foram selecionadas, por processo aleatório, apenas 13 das 23 parcelas amostradas. Para a interpolação da superfície utilizou-se, aleatoriamente, apenas 13 parcelas das 23 existentes no inventário florestal acessando a ferramenta de interpolação Geoestatística para Krigagem Ordinária, presente no ArcGIS 9.3<sup>TM</sup>.

As 13 parcelas foram submetidas a uma Análise Exploratória dos Dados (AED) para verificar alguma tendência na variável estudada (SCOLFORO; MELLO, 2006). E para quantificar, medir a dependência espacial e verificar o efeito anisotrópico entre os dados interpolados, nas unidades amostrais, utilizou-se o modelo semivariográfico Esférico.

Para validação do resultado da krigagem foram utilizadas as 10 parcelas restantes do inventário florestal e para comparação, entre os dados estimados a partir do inventário florestal e os valores interpolados pela Krigagem, foi aplicado o Teste “*t*”. Foi estabelecido um nível mínimo de segurança aceitável de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise de dispersão dos resíduos, erro padrão da estimativa (Syx) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o modelo de Schumacher e Hall foi o mais estável para estimativa do volume, sempre com o erro variando de -20% a 20% (LEAL et al., 2011). Assim, o volume para cada parcela amostrada em campo foi estimado e o resultado é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Volume de madeira (m<sup>3</sup>) para todas as parcelas amostradas na área de estudo.

Parcela	Vol. (m <sup>3</sup> )	Parcela	Vol. (m <sup>3</sup> )	Parcela	Vol. (m <sup>3</sup> )	Parcela	Vol. (m <sup>3</sup> )
46-1	12,4046	48-1	9,8879	50-1	9,6791	51-4	7,9867
46-2	11,7842	48-2	9,6880	50-2	8,6597	51-5	9,1372
46-3	8,8002	48-3	8,8266	50-3	11,4998	52-1	7,9530
47-1	11,5512	49-1	10,2612	51-1	8,5599	52-2	10,1026
47-2	10,3860	49-2	10,7197	51-2	8,6483	52-3	9,2956
47-3	11,1312	49-3	11,1831	51-3	8,5444	-	-

**Fonte:** Elaborado pelos Autores.

As parcelas sorteadas aleatoriamente para o processamento do inventário florestal e obtenção das estatísticas de precisão do mesmo, bem como para a interpolação pelo procedimento da krigagem ordinária são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Parcelas (13) sorteadas aleatoriamente para o processamento do inventário florestal e para a interpolação pelo procedimento da krigagem ordinária.

Parcela	Vol. (m <sup>3</sup> )	Parcela	Vol. (m <sup>3</sup> )	Parcela	Vol. (m <sup>3</sup> )
46-1	12,4046	49-2	10,7197	51-4	7,9867
47-1	11,5512	49-3	11,1831	51-5	9,1372
47-2	10,3860	50-2	8,6597	52-2	10,1026
47-3	11,1312	50-3	11,4998	-	-
48-2	9,6880	51-2	8,6483	-	-

**Fonte:** Elaborado pelos Autores.

Com os dados acima, o erro amostral relativo do inventário florestal foi de 7,88%, ficando abaixo do erro máximo admissível no inventário florestal, correspondendo a um erro absoluto de 0,80665 m<sup>3</sup>/parcela. Sem nenhum impedimento para proceder a interpolação.

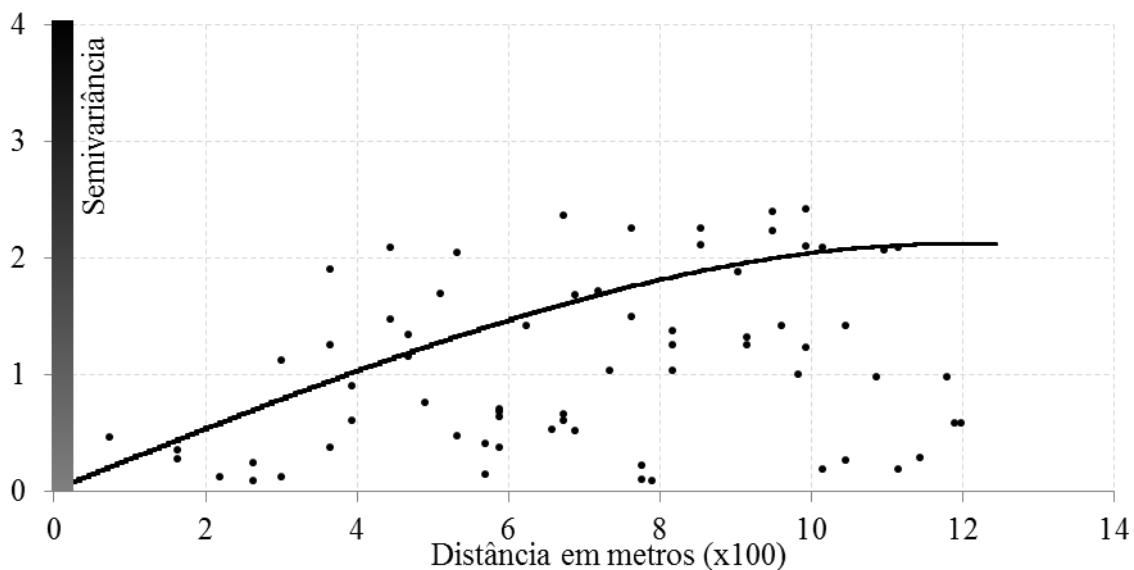
Com a AED não foi possível detectar nenhuma objeção sobre a aplicação do método de interpolação, tanto no gráfico *Box Plot*, bem como nos gráficos que analisam o comportamento da variável estudada em relação aos sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste (SCOLFORO; MELLO, 2006).

Porém, com análise exploratória não foi considerada a direção de interpolação no processo (anisotropia). Quando os dados apresentam tendência regionalizada, a anisotropia deve ser incorporada ao processo de interpolação (LANDIM et al., 2002).

Para considerar o efeito anisotrópico na interpolação foi conduzido um estudo semivariográfico para a constatação visual. O resultado possibilitou a verificação da presença de anisotropia, ou seja, a variabilidade não foi a mesma em todas as direções.

A partir desta observação foi obtido o semivariograma com anisotropia na direção de 5° e abertura angular de 49°, que possibilitou definir o melhor modelo para representar os dados utilizados neste estudo (ver Figura 1).

**Figura 1.** Modelo esférico ajustado ao semivariograma para dados de volume (m<sup>3</sup>/parcela), na direção de 5°, e abertura angular de 49°.



Fonte: Elaborado pelos Autores .

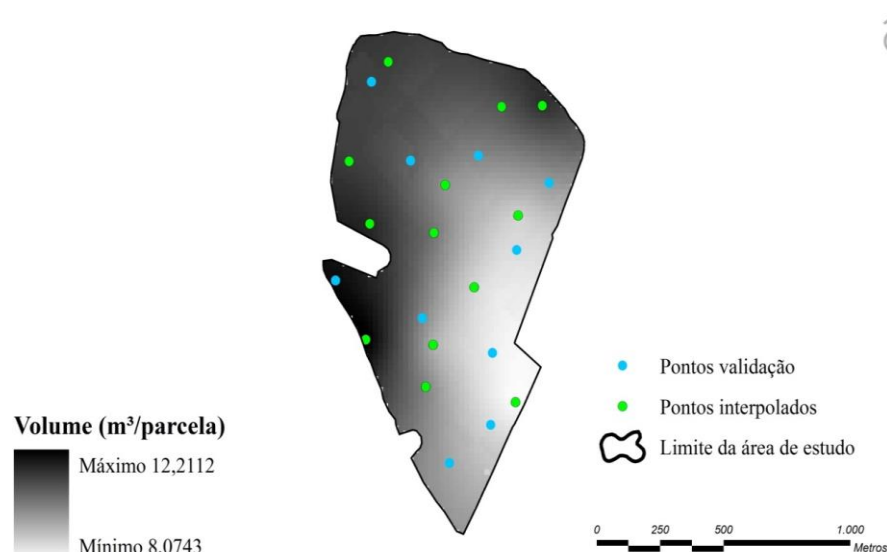
O baixo valor do efeito pepita (0,0834) e a importância da direção de interpolação do processo anisotrópico foram refletidos no alcance do semivariograma. Pode-se observar que o alcance prático do modelo foi de aproximadamente 1.100 metros. Segundo Mello (2004), quanto maior for essa distância, mais homogênea é a área e, com isso, melhores serão as estimativas utilizando a krigagem.

Mello et al. (2005) observaram num estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*, que independente do procedimento de amostragem, as características volume e altura dominante apresentaram forte dependência espacial. E, para essa característica, o alcance prático foi de 700 metros.

Trabalhando com uso da krigagem na definição de estratos para o inventário florestal, Ré et al. (2009), observaram que o volume total com casca (m<sup>3</sup>/ha) apresentou dependência espacial, ou seja, existe uma função estrutural, com semivariância de comportamento modelável.

No presente estudo, o resultado da interpolação da variável volume ( $\text{m}^3/\text{parcela}$ ) foi colocado numa imagem representando a predição com valores máximos e mínimos interpolados do volume. A imagem de predição do volume ( $\text{m}^3/\text{parcela}$ ) para o povoamento em estudo é apresentada na Figura 2.

**Figura 2.** Imagem de predição do volume ( $\text{m}^3$ ) para o povoamento estudado.



**Fonte:** Elaborado pelos Autores.

O volume derivado do inventário florestal, nas 10 parcelas utilizadas para validação, bem como os valores preditos na superfície interpolada (Figura 2) são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Volume ( $\text{m}^3/\text{parcela}$ ) do inventário florestal e predito na Krigagem para as 10 parcelas de validação.

Parcela	Inventário	Krigagem	Parcela	Inventário	Krigagem
46-2	11,7842	11,9385	50-1	9,6791	9,6653
46-3	8,8002	9,9908	51-1	8,5599	8,3312
48-1	9,8878	11,0915	51-3	8,5444	8,6134
48-3	8,8266	10,5385	52-1	7,9529	8,6290
49-1	10,2612	10,0078	52-3	9,2955	9,4971

**Fonte:** Elaborado pelos Autores.

Em geral a interpolação apresentou ligeira tendência em superestimar os valores interpolados. A média dos erros foi de  $-0,5 \text{ m}^3/\text{parcela}$ . Este resultado parcial corrobora Camargo et al. (2002), onde os estimadores da Krigagem apresentam propriedades importantes de não serem tendenciosos e ótimos no sentido de minimizar os erros inferenciais. Esse fato constatado pela pequena diferença entre as médias, nas parcelas de validação, do inventário florestal de  $9,4 \text{ (m}^3/\text{parcela)}$  e na Krigagem de  $9,8 \text{ (m}^3/\text{parcela)}$ .

Os resultados do Teste  $t$  revelam que não houve diferença significativa entre as duas médias, inventário florestal e krigagem, em que o  $t$  calculado foi de 2,16 e o  $t$  tabelado foi de 2,26, considerando um nível de 5% de significância.

Mello et al. (2006), usando estimadores geoestatísticos para predição volumétrica por talhão, também perceberam que todas as observações constatadas permitiram avaliar que o estimador geoestatístico gerou estimativa de volume semelhante à do inventário florestal, conjecturando-se sobre uma possível substituição desse último pela estimativa geoestatística, o que proporcionou redução considerável no custo de medição da floresta.

O método de interpolação Krigagem mostrou-se eficiente para estimar o volume (m<sup>3</sup>) no povoamento florestal em estudo, indicando que esta ferramenta pode ser utilizada com bastante confiança nos dados da predição dessa variável.

## CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi desenvolvido, pôde-se verificar que o volume apresentou estruturação espacial. Assim, as parcelas não puderam ser consideradas independentes entre si.

Ao considerar o fator anisotrópico na interpolação, o alcance prático do semivariograma aumentou, o que implica na melhor performance do modelo geoespacial (esférico) utilizado na Krigagem Ordinária. Esse maior alcance refletiu na precisão do processo de interpolação e, conseqüentemente, melhorou as estimativas do volume (m<sup>3</sup>) realizadas pela geoestatística.

Apesar de não diferirem um do outro, o estimador geoestatístico promoveu a vantagem de espacializar o volume (m<sup>3</sup>) na área estudada, o que permitiu inferência sobre os locais que possuem os maiores e os menores valores de volume de madeira, fato esse limitado pelo processo tradicional de inventário florestal.

Apesar das vantagens apresentadas nesta pesquisa, os estimadores geoestatísticos ainda dependem de dados levantados em campo, que utilizam os métodos tradicionais de obtenção do volume. Esses últimos seguem subsidiando novas alternativas e possibilidades para obtenção do volume, até que possam ser substituídos por métodos indiretos que sejam menos onerosos e morosos.

## REFERÊNCIAS

CAMARGO, E.C.G.; FUCKS, S.D.; CÂMARA, G. **Análise espacial de superfícies**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, SP. 2002.

DRUCK, S. et al **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, (ISBN 85-7383-260-6), 2004.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R.; MONTEIRO, R.C. **Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Laboratório de Geo Matemática, Texto Didático 06, 12 pp. 2002.

LEAL, F.A.; MIGUEL, E.P.; MATRICARDI, E.A.T. Mapeamento de unidades produtivas utilizando a interpolação geoespacial krigagem a partir do inventário florestal em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; Pág. 727 a 745, 2011.

MELLO, J.M. de et al. Uso do estimador geoestatístico para predição volumétrica por talhão. **Revista Floresta**, v. 36, n. 2, p. 251-260, 2006.

---

MELLO, J.M. de et al. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. **Revista Cerne**, v. 11, n. 2, p. 113-126, 2005.

MELLO, J.M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal** / José Marcio de Mello. - - Piracicaba, Tese de doutorado, 2004. 111p.

RÉ, D.S.; THIERSCH, C.R.; ANDRADE, C.M. Avaliação do uso da krigagem na definição de estratos para o inventário florestal. Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. **Anais...**, 2009.

SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. de. **Inventário Florestal** / José Roberto Soares Scolforo, José Márcio de Mello. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.

SOUZA, C.C. de et al. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil – Uma revisão bibliográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17. n. 4. p. 409-417. Out-Dez, 2007.

