










## ANÁLISE DA DEPENDÊNCIA ESPACIAL DO VOLUME DE MADEIRA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS NO JARDIM BOTÂNICO DO RECIFE - PE

Thyêgo Nunes Alves Barreto<sup>1</sup>, Cleuma Christir Almeida<sup>2</sup>, Elaine Cristina Alves Silva<sup>1</sup>, Moisés Silva Santos<sup>3</sup>, Juliana Fonseca Cardoso<sup>2</sup>, Anderson Oliveira Lima<sup>2</sup>, Luiz Felipe Maravilha<sup>2</sup>,  
Francineide Bezerra Gonçalves<sup>2</sup>

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: thyego\_nunes@hotmail.com; elainemanancial@gmail.com

2 Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, Brasil. E-mail: cleumaurpe@gmail.com; juliana.c.fonseca33@gmail.com; lima.anderson@ufvjm.edu.br; filipemaravilha@gmail.com; franfloresta@gmail.com

3 Eco-Logica Brasil, Araripina, PE, Brasil. E-mail: moises.florestal@gmail.com

Autor correspondente: Thyêgo Nunes Alves Barreto. E-mail: thyego\_nunes@hotmail.com.

### RESUMO

Em áreas urbanas vegetadas o volume de madeira é um excelente preditor para a verificação do estado de sua conservação e preservação, principalmente por propiciar quantificar a capacidade de fixação de CO<sub>2</sub> capturado pela vegetação. Neste sentido o presente trabalho vem na tentativa de verificar se o volume de madeira em (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) sofre influência do espaço, utilizando o método de krigagem ordinária. O trabalho foi realizado em uma floresta urbana, onde foram lançados 50 pontos amostrais na forma sistemática e amostrados pelo método de Prodan, sendo estimado o seu volume, com o intuito de obter o melhor modelo de predição. Os resultados demonstraram que o melhor modelo é o exponencial por possuir menores estimativas de erro e apresentar forte relação do volume de madeira com a dependência espacial. Concluiu-se que a Krigagem ordinária foi satisfatória e capaz de auxiliar na compreensão de variáveis extraídas de inventários florestais, especialmente em ambientes antropizados.

**Palavras-chave:** Krigagem ordinária; predição volumétrica; variabilidade espacial

## ANALYSIS OF THE SPATIAL DEPENDENCE OF THE WOOD VOLUME OF INDIVIDUAL TREES IN THE BOTANICAL GARDEN OF RECIFE – PE, BRAZIL

### ABSTRACT

*In vegetated urban areas, the volume of wood is an excellent predictor for verifying its state of conservation and preservation, mainly because it allows quantifying the ability to fix CO<sub>2</sub> captured by vegetation. In this sense, the present work tries to verify if the volume of wood in (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) is influenced by space, using the ordinary kriging method. The work was carried out in an urban forest, where 50 sampling points were launched in a systematic way and sampled by the Prodan method, estimating its volume, in order to obtain the best prediction model. The results show that the best model is the exponential one as it has lower error estimates and presents a strong relationship between wood volume and spatial dependence. It is concluded that ordinary kriging was satisfactory and capable of helping to understand variables extracted from forest inventories, especially in anthropized environments.*

**Key words:** Ordinary kriging; volume prediction; spatial variability

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



### INTRODUÇÃO

A fragmentação florestal tem sido um dos maiores problemas no tocante à conservação e preservação das florestais nativas, especialmente em áreas de Mata Atlântica. Algumas destas áreas se encontram próximas de grandes centros urbanos ou então envolvidas por plantações (Morellato & Haddad, 2000).

Apesar de degradadas, essas formações florestais têm relevante impacto no potencial da absorção do CO<sub>2</sub> atmosférico, convertendo-o em biomassa durante o crescimento arbóreo (Brianezi *et al.*, 2013).

Desta forma, os estudos das variáveis florestais como o volume, biomassa e carbono são de extrema relevância, devendo ser considerada a dependência espacial destas variáveis tendo em vista que serve de suporte para ações gerenciais que visam a preservação dos fragmentos florestais, bem como para a gestão dos órgãos públicos com relação a implementação de políticas de controle e conservação.

Existe método que aborda a dependência espacial a partir da comparação de uma amostra (parcelas ou pontos amostrais) com os seus vizinhos mais próximos, como a krigagem (Fonseca, 2008).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho é averiguar se existe variabilidade espacial do volume de árvores nativas em um fragmento de mata atlântica, em área urbana no Estado de Pernambuco, utilizando a técnica de construção de semivariogramas e krigagem ordinária, para a compreensão do comportamento espacial da variável em estudo diante do estado de antropização do local.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de Estudo

O estudo foi realizado no Jardim Botânico do Recife (JBR), situado as margens da BR-232, próximo ao Distrito Industrial do Curado, na porção Sudoeste da cidade do Recife, ocupando uma área de 10,7 ha (Gestão Ambiental do Recife, 2010). O clima é do tipo As', que corresponde ao clima tropical chuvoso, com verão seco e estação chuvosa antes do inverno, com temperatura média anual de 25° C (PCR, 2003) com precipitação média anual de 2214 mm/ano (APAC, 2014).

#### Coleta e análise de dados

A amostragem foi sistemática com 50 pontos espaçados equidistante entre si (25 m) pelo método de amostragem de Prodan, cada ponto teve a coleta da sua coordenada e circunferências a altura do peito (C), além da altura das seis árvores mais próximas de cada ponto, sendo a sexta árvore, a mais distante do ponto contada como meia e medida sua distância para as estimativas das variáveis dendrometrias (Péllico Netto & Brena, 1997).

Foram estimados os volumes individuais de cada um dos seis indivíduos arbóreos amostrados em cada ponto, conforme a Equação 1 obtida por Chichorro *et al.* (2003).

$$\ln(vm_i) = -9,97595150 + 2,05409213 \cdot \ln(D_i) + 0,87842365 \cdot \ln(hm_i) \quad (1)$$

Em que:  $m_i$  = volume comercial com casca (m<sup>3</sup>);  $D_i$  = diâmetro a 1,30 m do solo;  $hm_i$  = altura comercial (m);  $\ln$  = logaritmo natural (base e).

Em sequência a partir do volume individual das 6 árvores-amostras pelo método de Prodan utilizou-se a Equação 2 para as estimativas do volume de madeira por ponto.

$$V = \frac{(v_1+v_2+v_3+v_4+v_5+v_6/2)}{\pi.R_6^2} \times 10000 \quad (2)$$

Em que: V = volume por hectare ( $m^3 ha^{-1}$ );  $R_6$  = raio da sexta árvore (m);  $v_i$  = volume estimado das n árvores ( $m^3$ ).

A análise da dependência espacial foi realizada utilizando o semivariograma, com o intuito de perceber se existe relação da dependência espacial. Os cálculos das semivariâncias  $\gamma(h)$ , nas direções  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$ , foram usados para representar o modelo de maior alcance entre as quatro direções, a partir disso foram obtidos os coeficientes, efeito pepita “ $C_0$ ”, o patamar “ $C_0 + C_1$ ”, e o alcance de dependência espacial, “a” para os modelos teóricos de semivariogramas selecionados (Couto *et al.*, 2000).

A dependência espacial foi avaliada pelo parâmetro Avaliador da Dependência Espacial (ADE): quando igual a 0 (zero) é interpretada como nula; fraca quando for inferior a 0,25; moderada entre (0,25 – 0,75) e forte ( $> 0,75$ ) (Landim, 1998). Como critério de seleção do modelo teórico de melhor ajuste, utilizou a validação-cruzada “*cross-validation*” para fornecer o coeficiente de determinação do modelo de regressão ( $R^2$ ) e erro padrão das estimativas.

Para finalizar, foi elaborado um semivariograma teórico com base nos resultados obtidos pelo ADE e a técnica de validação-cruzada, que foi utilizado para a interpolação e mapeamento da variável volume com a Krigagem ordinária, gerando o mapa de predição da variável em estudo sob a área do JBR. As análises estatísticas foram realizadas no Excel 2013 e Arcgis versão 10.1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros dos modelos analisados após a análise semivariográfica estão expostos na (Tabela 1), e mais adiante na (Tabela 2) os parâmetros avaliados pela validação cruzada para a seleção do modelo que melhor ajusta os dados.

**Tabela 1.** Parâmetros semivariográficos para o volume de madeira do JBR

Variável	Modelo	$C_0$	C	(C+ $C_0$ )	A(m)	ADE=C/( $C_0$ +C)	Dependência espacial
Volume ( $m^3/ha$ )	Exponencial	1,066	5,632	6,698	425	0,841	Forte
	Rotacional quadrático	1,675	4,647	6,322	437	0,735	Forte
	Esférico	1,458	4,753	6,210	305	0,765	Forte
	Circular	1,558	4,770	6,328	286	0,754	Forte
	Gaussiano	2,060	4,106	6,166	251	0,666	Moderada

**Tabela 2.** Validação cruzada da krigagem ordinária para o volume de madeira ( $m^3 ha^{-1}$ ) do JBR

Variável	Modelo	Erro padrão	Erro padrão estimado	$R^2$
Volume ( $m^3/ha$ )	Exponencial	1,48	0,92	0,74
	Rotacional quadrático	1,49	0,96	0,73
	Esférico	1,47	0,95	0,74
	Circular	1,47	0,94	0,74
	Gaussiano	1,49	0,93	0,76

De acordo com os parâmetros semivariográficos analisados para o volume de madeira, se observou que a variável apresentou de modo geral dependência espacial, como resposta ao ajuste de cinco modelos geostatísticos, quatro destes com forte dependência espacial e um moderado.

O modelo exponencial foi o que mais se destacou quando comparado aos demais, por apresentar os menores valores de erro-padrão e erro-padrão estimados, além dos melhores resultados quanto aos valores de efeito pepita “C<sub>0</sub>”, patamar “C” e ADE.

O modelo exponencial apresenta melhor ajuste e predição de biomassa e carbono em floresta nativa (Amaral *et al.*, 2010) ou plantada (Mello *et al.*, 2009), apresentando correlação com o volume de madeira devido a mobilidade de conversão entre elas por possuírem fortes relações alométricas, fisiológicas e morfológicas. Ainda segundo Mello *et al.* (2009), a krigagem auxilia nos estudos envolvendo número de fustes e volume de madeira.

Na Figura 1 estão ilustrados os maiores valores de volume de madeira na região mais central, isto se deve aos possíveis fatores relacionados ao microclima, competição e umidade do solo serem mais significativos no interior do fragmento florestal.

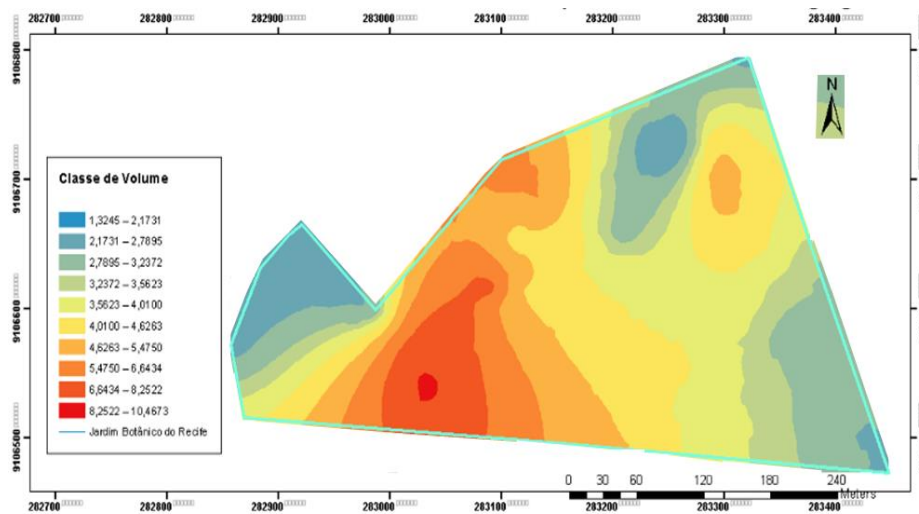


Figura 1. Estimativa de volume de madeira pelo modelo rotacional quadrático escolhido após a validação cruzada

De acordo com Campos (1991), a produção de biomassa flutua conforme o local e interfere diretamente na variação de diversos fatores ambientais e aqueles atribuídos ao próprio indivíduo e espécies, fazendo com que haja uma associação entre biomassa e produtividade inicial (volume), sendo baixa em povoamentos jovens de rápido crescimento e, maior, onde a maior parte da energia é gasta para manter o alto estoque de biomassa existente.

Desta forma, ficou evidente que a variável volume sofre bastante influência espacial na área do JBR.

## CONCLUSÃO

O volume de madeira dos indivíduos arbóreos do JBR apresentou bons ajustes dos semivariogramas atendendo satisfatoriamente a verificação da correlação espacial e permitindo a elaboração de mapas temáticos de isovalores por meio do modelo exponencial com melhor ajuste.

A krigagem ordinária foi satisfatório, auxiliando a estatística clássica na compreensão do comportamento do volume de madeira existente, denotando sua eficácia na estimativa de valores de variáveis de difícil obtenção principalmente em formações de fragmentos de mata atlântica antropizados.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC. **Monitoramento pluviométrico**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 24 Fev. 2014.
- Amaral, L. P.; Ferreira, R. A.; Watzlawick, L. F.; Genú, A. M. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, v. 6, p. 103-114, 2010. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/885>. Acesso em: 22 Jun. 2023.
- Brianezi, D.; Jacovine, L. A. G.; Soares, C. P. B.; Castro, R. V. O.; Basso, V. M. Equações alométricas para estimativa de carbono em árvores de uma área urbana em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 37, n. 6, p. 1073-1081, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600009>.
- Campos, M. A. A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis***: avaliação na safra e na safrinha. 1991. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/42132>. Acesso em: 15 Jul. 2023.
- Chichorro, J. F.; Resende, J. L. P.; Leite, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000600006>.
- Couto, E. G.; Klamt, E.; Stein, A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 129-139, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000100015>.
- Fonseca, B. H. F. **Um estudo sobre estimação e predição em modelos geoestatísticos bivariados**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. <https://doi.org/10.11606/D.11.2009.tde-13042009-165056>.
- Gestão Ambiental do Recife. **Jardim Botânico**: breve histórico. Disponível em: [http://www.recife.pe.gov.br/especiais/meioambiente/jb\\_apresentacao.php](http://www.recife.pe.gov.br/especiais/meioambiente/jb_apresentacao.php). Acesso em: 24 Fev. 2023.
- Landim, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 226p.
- Mello, J. M.; Diniz, F. S.; Oliveira, A. D.; Mello, C. R.; Scolforo, J. R. S.; Acerbi Junior, F. W. Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p. 185-194, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000100020>.
- Morellato, L. P. C.; Haddad, C. F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 786-792, 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00618.x>.
- Prefeitura da Cidade do Recife – PCR. Secretaria de Planejamento Urbano e Ambiental. **Jardim Botânico do Recife**: reestruturação e projetos. Recife: PCR, 2003. p. 2-22.
- Péllico Neto, S.; Brena, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: Os Autores, 1997. 316p.