

INVENTÁRIO DE BIOMASSA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA: INTENSIDADE AMOSTRAL *versus* VARIABILIDADE ESPACIAL

INVENTORY OF BIOMASS IN THE MIXED OMBROPHILOUS FOREST: SAMPLING INTENSITY *versus* SPACIAL VARIABILITY

Henrique Luis Godinho Cassol¹, Elisabete Caria Moraes¹, Yosio Edemir Shimabukuro¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, j; henrique@dsr.inpe.br; bete@ltd.inpe.br; yosio@dsr.inpe.br;

RESUMO

O Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) tem por objetivo o levantamento de dados sobre a diversidade, estado de conservação, composição e estrutura da cobertura florestal, que inclui o estoque de biomassa. Utilizando as Unidades Amostrais do IFFSC, o inventário de estoque de biomassa foi realizado por meio do intervalo de confiança (IC). Técnicas determinísticas e estocásticas de análise espacial foram usadas para especializar a biomassa na Floresta Ombrófila Mista e comparadas ao resultado do IC. Além disso, a intensidade amostral foi avaliada pela análise do semivariograma e pela variância de erro gerada a partir da Krigagem Ordinária. O estoque de biomassa foi estimado em $IC = [0,3 \times 10^8 \text{ Mg} < 1,3 \times 10^8 \text{ Mg} \leq 2,6 \times 10^8 \text{ Mg}] = 95\%$. As variações de estoques gerados pelas técnicas espaciais foram inferiores a 5% do obtido pelo IC. Nas áreas localizadas à Leste encontram-se as áreas mais densamente amostradas, enquanto que as áreas à Oeste foram sub-amostradas. As técnicas de análise espacial são ferramentas úteis não somente para gerar mapas de estoque de biomassa como também para avaliar a intensidade amostral.

Palavras-chave: Análise espacial, geostatística, krigagem, floresta de araucária, amostragem.

ABSTRACT

The Santa Catarina Forest and Floristic Inventory (IFFSC) aims to survey data on the diversity, condition, composition and structure of forest cover, which includes biomass stock. Using Sampling Units from IFFSC inventory stock biomass was performed by the confidence interval (CI). Deterministic and stochastic techniques of spatial analysis were used to specialize biomass in the Araucaria Forest and compared to the results of the CI. Furthermore, the sampling intensity was evaluated by analysis of semivariogram and variance error generated by Ordinary Kriging. The stock biomass was estimated at $CI = [0.3 \times 10^8 \text{ Mg} < 1.3 \times 10^8 \text{ Mg} \leq 2.6 \times 10^8 \text{ Mg}] = 95\%$. Changes in inventories generated by special techniques were less than 5 % of that obtained by IC. Areas located at East were most densely sampled, while areas at West were subsampled. The spatial analysis techniques are useful tools not only to generate maps of biomass stock as well as to assess the sampling intensity.

Keywords: Spatial analysis, geostatistics, kriging, araucaria forest, sampling intensity.

INTRODUÇÃO

O Inventário Nacional Florestal (INF) tem a finalidade de prover informações sobre os recursos florestais do País que são relevantes para a tomada de decisão a nível nacional e para o monitoramento contínuo das florestas públicas (VIBRANS *et al.*, 2013). Dentre os temas atuais de interesse do INF, estão as medidas de biodiversidade, aspectos sociais das florestas e estoques de biomassa e carbono. O estoque de biomassa de uma floresta refere-se à quantidade, em massa, de material vivo ou morto presente na vegetação ou apenas na sua fração arbórea (SANQUETTA e BALBINOT, 2004). Sua medição é um instrumento útil na avaliação de um ecossistema, tendo em vista sua aplicação na análise da produtividade, conversão de energia, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenagem de energia solar (SOARES *et al.*, 2006).

Em um Inventário Nacional Florestal, as estimativas do estoque de biomassa florestal não podem ser

realizadas pelo método destrutivo, devido à escala de trabalho. Por isso, estas envolvem a seleção de certos critérios estatísticos de amostragem e de probabilidade de erro associados, definidos por um intervalo de confiança (KOHL *et al.*, 2006). O inventário florestal é um processo de estimação de cunho estatístico aplicado às variáveis aleatórias, ou seja, estas variáveis têm a mesma probabilidade de ocorrência em certo evento aleatório independente da posição em que se encontram no espaço. Este pressuposto, quando aplicado às v.a naturais é importante, pois exclui o efeito bias ou erro sistemático (SOARES, 2000).

Porém, sabe-se que além de independência do fenômeno, algumas v.a naturais apresentam forte correlação entre si e entre as amostras adjacentes (autocorrelação). Neste caso, as estatísticas podem levar a resultados imprecisos e/ou apresentar sub ou superamostragem da variável estudada. O uso de técnicas de análise espacial, que consideram a localização espacial das Unidades Amostrais do INF, pode nos fornecer informações importantes para avaliar a influência destes parâmetros na amostragem (HERO *et al.*, 2013). Estas técnicas podem ser determinísticas, como os interpoladores de média local e do inverso do quadrado da distância, ou estocásticas⁴, a exemplo da Krigeagem, que atribui os pesos às diferentes amostras para estimar os valores desconhecidos, perante análise de variogramas e da determinação da anisotropia. A Krigeagem difere dos interpoladores determinísticos por ser o único que confere ao analista a estimativa de precisão e de avaliação do erro (SOARES, 2000).

Métodos tanto determinísticos quanto estocásticos já foram utilizados para se estimar a distribuição espacial da biomassa florestal, especialmente na Floresta Amazônica (SALES *et al.*, 2007). Entretanto, estes divergem nos valores totais estimados, assim como na identificação de locais que apresentam variação muito expressiva em seus valores máximos e mínimos (HOUGHTON *et al.*, 2001). Para Sales *et al.*, (2007), tanto os interpoladores determinísticos como os interpoladores estocásticos são adequados para a geração de superfícies, dependendo do comportamento da variável aleatória. Normalmente, os métodos determinísticos se adequam bem aos dados independentes e com baixa correlação espacial, enquanto que os dados que apresentam anisotropia e autocorrelação espacial são mais bem modelados por estimadores estocásticos (VIANA *et al.*, 2012). A presença de autocorrelação tende a diminuir a intensidade amostral, pois esta pode levar a superestimativas, devido à redundância de informações (HERO *et al.*, 2013). O mapa de incertezas e de variância do erro gerados pelo processo de Krigeagem pode ser uma ferramenta útil para identificar áreas pouco ou densamente amostradas.

Portanto, neste trabalho foram realizadas três abordagens espaciais sobre o Inventário de biomassa em Santa Catarina: na primeira, foram geradas as superfícies interpoladas de biomassa; na segunda, o inventário clássico (não espacial) foi comparado ao uso de técnicas de análise espacial para prever a quantidade de biomassa na Floresta Ombrófila Mista e; por último, a intensidade amostral foi avaliada mediante uso da geoestatística.

MATERIAIS E MÉTODOS

O banco de dados provém das parcelas permanentes do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC), realizado durante o período de 2007 a 2010, que faz parte da campanha do INF. As 143 Unidades Amostrais (UA) estão irregularmente distribuídas na Floresta Ombrófila Mista (FOM) conforme a Figura 1.

Conforme Klein (1978), a FOM cobria aproximadamente 42.851 km², ou quase 45 % da superfície do estado. Atualmente, a cobertura da FOM corresponde a 13.741 km² (24,4% da cobertura original), com um intervalo de confiança entre 12.350 km² e 15.170 km² para um nível de probabilidade de 95% (VIBRANS *et al.*, 2013).

Segundo as informações do IFFSC (2013), as UA encontram-se distribuídas entre as altitudes de 514 m, no município de Agronômica, e 1560 m, em Bom Jardim da Serra. Nas regiões Centro Sul e Noroeste do Estado, nas microrregiões de Campos de Lages e de São Miguel do Oeste, encontram-se formações da FOM associadas aos campos de altitude e bosques de pinheiros. Ao passo que na encosta de sotavento da Serra

⁴Processo estocástico é um processo de uma família de variáveis aleatórias. Assim, se uma variável aleatória se distribui no espaço, esta será uma função espacial de um processo estocástico, também dito probabilístico.

Geral encontram-se ecótonos de transição entre a FOM e Floresta Ombrófila Densa, denominadas Florestas de Faxinais e Florestas Nebulares (KLEIN, 1978).

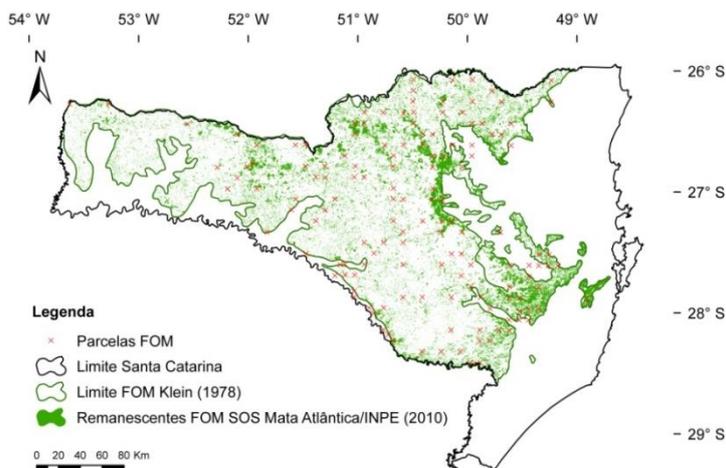


Figura 1. Localização espacial das Unidades Amostrais no domínio da Floresta Ombrófila Mista.
Figure 1. Spatial location of Sample Units belonging to Mixed Ombrophilous Forest.

A antropização da FOM reflete-se nos diferentes estágios de transição presentes nesta formação florestal. Conforme o IFFSC (2013), das 143 UA, 70 UA encontram-se em estágio médio, 67 em estágio avançado, uma em estágio inicial e cinco classificadas como primárias, segundo suas condições fitossociológicas, o que caracteriza a grande amplitude de valores de estoque de biomassa florestal.

Biomassa Florestal

De posse das variáveis dendrométricas, a biomassa florestal viva e morta acima do solo foi estimada pela equação alométrica desenvolvida e ajustada por Ratuchne (2010) para a FOM de General Carneiro/PR e aplicada ao conjunto de árvores, por classes diamétricas, a partir dos respectivos diâmetros medidos e das alturas estimadas do inventário do IFFSC, mediante a seguinte equação alométrica:

$$PS = d^2 + 0,009.d^2 (d^2.Ht)$$

Onde: PS = Peso seco total da árvore, em $Mg.ha^{-1}$; d = diâmetro à altura do peito, em centímetros; Ht = altura total da árvore, em metros; Sendo $Ht = Ht = 10^{0,31+0,23\ln(d)}$ a equação hipsométrica ajustada para o IFFSC (IFFSC, 2013);

O somatório dos pesos secos individuais das árvores contidas na parcela do inventário representa a biomassa florestal, em Megagramas por hectare, do respectivo ponto amostral. Estes pontos foram utilizados para gerar as superfícies de interpolação da biomassa na FOM.

Métodos de estimativa da biomassa

A metodologia de análise está desenvolvida no fluxograma da Figura 2. As 143 Unidades Amostrais do IFFSC foram usadas para calcular o intervalo de confiança do inventário de biomassa, bem como para gerar e computar a biomassa através das superfícies interpoladas pelas técnicas de análise espacial.

Depois de interpolados os pontos, as superfícies geradas foram recortadas segundo os polígonos da FOM (SOS Mata Atlântica/INPE, 2013) para o cálculo da biomassa em cada um dos métodos espaciais.

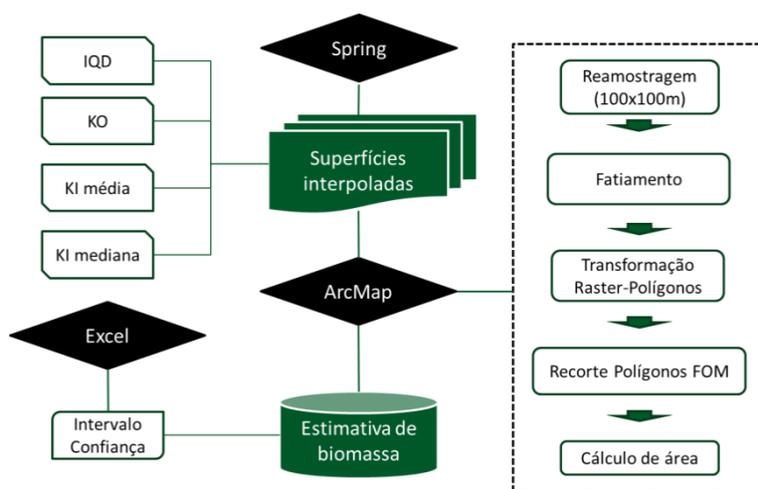


Figura 2. Fluxograma metodológico.

Figure 2. Methodology flowchart.

Não Espacial

O estoque de biomassa de uma população florestal é estimado pelo inventário, por meio do critério do intervalo de confiança. O intervalo de confiança da estimativa de biomassa de uma população infinita⁵ pode ser representado por (KÖHL *et al.*, 2006): $IC = [\hat{X} - N z s_{\bar{x}} \leq \bar{X} \leq \hat{X} + N z s_{\bar{x}} = P$. Em que IC é intervalo de confiança ao nível α de probabilidade de erro; \hat{X} , a estimativa do total da população, dado por $\hat{X} = N\bar{x}$; N , o total da população (área da FOM); \bar{x} , a média amostral, em Mg; $z s_{\bar{x}}$, o erro amostral absoluto, baseando-se em uma distribuição normal z , em Mg e P , o nível de confiança estabelecido (95%).

Espacial

Dois conjuntos de técnicas de análise espacial foram utilizados: determinísticos, com o inverso do quadrado da distância e os estocásticos (probabilísticos), com a Krigeagem ordinária e a Krigeagem por indicação.

O interpolador inverso do quadrado da distância (IQD) é um estimador determinístico local que consiste em atribuir maior peso à amostra, cuja distância esteja mais próxima daquela que se deseja estimar. É dito determinístico, pois apenas os efeitos locais são predominantes e não são realizadas quaisquer inferências estatísticas sobre a variabilidade espacial do fenômeno (CAMARGO *et al.*, 2004). A fórmula geral do IQD é dada por: $\hat{z} = \frac{\sum_1^n w_i z_i}{\sum_1^n z_i}$; em que \hat{z} é o valor a ser interpolado; w_i , o peso do estimador, no caso do IQD o peso será dado pela distância Euclidiana entre dois pontos $w_i = 1/d(x, x_i)^2$; n = número de pontos e z_i é o ponto de valor conhecido. Na geração da superfície interpolada foi usado um raio de 150 km e a resolução de saída de 100x100m.

A Krigeagem é uma técnica estocástica de interpolação baseada nos pressupostos de geostatística de modelagem da estrutura de correlação espacial por meio de variogramas (CAMARGO *et al.*, 2004). A hipótese implícita da Krigeagem, portanto, pressupõe a estacionariedade⁶ do fenômeno, em que se considera que há homogeneidade espacial do fenômeno, com a variável regionalizada repetindo-se no espaço (SOARES, 2000).

O estimador linear geostatístico $[Z(x_0)]^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$, denominado Krigeagem Normal ou Ordinária (KO) é uma combinação linear do conjunto de N variáveis vizinhas de $x_0 - Z(x_i)$, $i = 1, \dots, N$, sendo que $Z(x_0)$ é o ponto a estimar, $Z(x_i)$, o valor das amostras e λ_i o peso do estimador (SOARES, 2000). A limitação

⁵ Considera-se uma população infinita aquela em que a área inventariada corresponde ao valor inferior a 2% do total.

⁶ Estacionariedade é uma propriedade do modelo probabilístico, hipótese necessária para realização de inferência. Implica a estabilidade ou flutuação dos valores das variáveis aleatórias em torno de uma média constante. Não é, todavia, uma característica do fenômeno, mas sim uma decisão feita pelo analista.

deste método reside na imposição de que o fenômeno seja homogêneo dentro da área e que as médias das variáveis $Z(x)$ sejam desconhecidas, mas constantes dentro da área (critério de estacionariedade). Na Krigeagem Ordinária, o efeito da anisotropia foi considerado na realização da estimação.

Na Krigeagem por Indicação Ordinária (KI), o valor $I_z(x_0)$ é estimado por uma combinação linear dos valores $I_z(x_i)$ das amostras vizinhas de x_0 : $[I(x_0)]^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i(z) I_z(x_i)$. Se a variável $Z(x)$ for transformada em uma variável indicatriz $I_z(x)$, com base no corte z , tem-se que $I_z(x) = 1$ se $Z(x) < z$ ou 0 se $Z(x) > z$. Neste caso, a esperança do conjunto estacionário de variáveis $I_z(x)$ fica igual à probabilidade de ocorrer um valor de $Z(x)$ inferior a z . Assim, o conjunto de variáveis $I_z(x)$, produz uma realização da função de distribuição condicional acumulada (*fdc*) de $Z(x)$, que será tanto mais contínua quanto maiores forem os números de cortes. Esta *fdc* pode ser usada para a confecção de mapas de probabilidade de ocorrência de certo fenômeno espacial, segundo um limiar de corte ou até mesmo para a criação de cenários probabilísticos (GOOVAERTS, 1997).

Na KI três cortes foram fixados para a geração da *fdc*: probabilidade de 0,33, 0,66 e 0,89 para valores de 105,69, 154,64 e 220 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. O raio de busca foi de 65 km obtido para o corte de 154,64. O resultado da Krigeagem por indicação foi feito por dois métodos: aquele que considera o valor médio na estimativa (erros da estimação dados em um desvio padrão) e o que considera o valor mediano na estimativa (erros dados pela diferença interquartil).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estoque de biomassa estimado variou de 10,09 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a 445,46 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com coeficiente de variação de $\text{CV} = 50\%$ (Figura 3). A média global para as 143 UA foi de 142,60 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com valor mediano de 127,89 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, assumindo-se que, para qualquer valor prático, a biomassa segue uma distribuição normal.

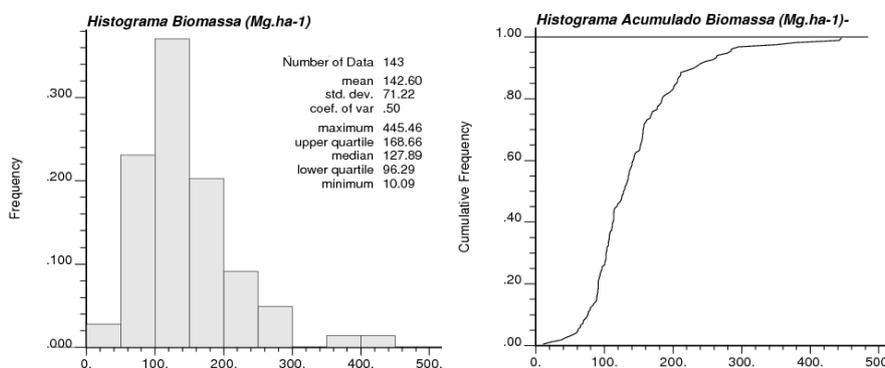


Figura 3. Histograma das frequências e histograma acumulado da biomassa.

Figure 3. Frequencies histogram and cumulative histogram of biomass.

Inventário de biomassa

Considerando a área total dos remanescentes florestais de 2011/12 (SOS Mata Atlântica/INPE, 2013) de aproximadamente 923.870 hectares, o estoque de biomassa florestal é da ordem de $1,3 \times 10^8$ Megagramas com variação pelo intervalo de confiança de $\text{IC} = [0,3 \times 10^8 \text{ Mg} < 1,3 \times 10^8 \text{ Mg} \leq 2,6 \times 10^8 \text{ Mg}] = 95\%$.

Análise espacial

Na Figura 4, têm-se as superfícies geradas pelos quatro métodos espaciais: A) IQD; B) KO; C) KI média e D) KI mediana. Verificam-se pelas quatro Figuras abaixo que estas apresentaram resultado visual semelhante. O mapa obtido pelo IQD (Figura 4a), tendo a propriedade de conservar os valores originais, apresenta uma superfície descontínua, ao passo que a Krigeagem gerou um mapa mais “suavizado”. O IQD é

sensível à função da ponderação e à distribuição irregular dos dados (CARUSO e QUARTA, 1998), pois agrupamentos de variáveis irão afetar significativamente as estimativas.

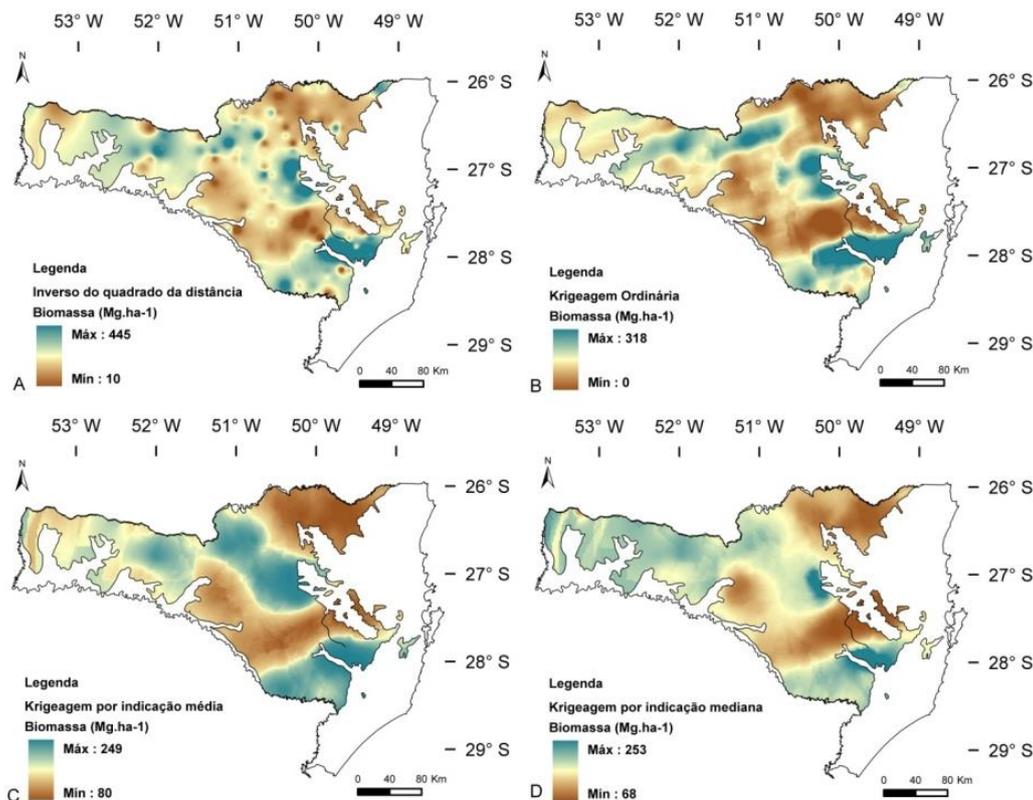


Figura 4. Superfícies de biomassa florestal interpoladas. A) Inverso do quadrado da distância; B) Krigeagem Ordinária; C) Krigeagem por Indicação Média; D) Krigeagem por Indicação Mediana.

Figure 4. Interpolated surfaces of forest biomass. A) Inverse Square Distance; B) Ordinary Kriging; C) Indicator Kriging (mean); D) Indicator Kriging (median).

O mapa gerado pela KO, anisotrópico (Figura 4b), mostra os eixos de maior e menor variabilidade espacial, com 70° e 160° de azimute, respectivamente. As áreas com maiores estoques encontram-se ao Leste, próximas a Serra do Mar, onde estão distribuídas as áreas de floresta mais intactas, e ao sul, no Planalto de Lages. As superfícies de estoque de biomassa geradas a partir da KI obtiveram correspondência com a KO, sendo estas ainda mais suaves do que aquela.

Comparação de métodos

Na Tabela 1 tem-se a comparação da estimativa do estoque de biomassa da FOM dada pelo inventário com a obtida pelos diferentes métodos de interpolação. Nota-se que a variação foi inferior a 5% do valor estimado pelo IC, exclusivamente estatístico. Essa robustez nos valores estimados se deve especialmente à distribuição normal que os dados seguem no espaço. Ressalva-se que a estimativa obtida por meio do inventário de confiança não reflete necessariamente o melhor resultado ou a verdade.

Tabela 1. Comparação entre métodos de estimativa de biomassa.
 Table 1. Comparison between methods for biomass estimation.

Método	IC	IQD	KO	KI média	KI mediana
Estimado (Mg)	1,32x10 ⁸	1,38 x10 ⁸	1,38 x10 ⁸	1,36 x10 ⁸	1,27 x10 ⁸
Desvio absoluto do IC (Mg)		0,07 x10 ⁸	0,07 x10 ⁸	0,04 x10 ⁸	-0,05 x10 ⁸
Desvio relativo do IC (%)		4,99	4,99	3,29	-3,94

Nota: IC – Valor médio pelo intervalo de confiança; IQD – Inverso do quadrado da distância; KO – Krigeagem Ordinária; KI média – Krigeagem por indicação média; KI mediana – Krigeagem por indicação mediana.

Os métodos IQD, Krigeagem Ordinária e Krigeagem por indicação média superestimaram os valores de biomassa, enquanto a KI mediana subestimou a biomassa, com relação ao IC. Segundo Freeman e Moisen (2007), os métodos probabilísticos de Krigeagem não necessariamente geram mapas com estimativas mais acuradas (FREEMAN e MOISEN, 2007), e que a ausência de autocorrelação espacial em uma escala pode ser significativa em outra, dependendo da continuidade espacial do fenômeno (CURRAN e ATKINSON, 1988).

Intensidade Amostral

A intensidade amostral pode ser avaliada através do variograma e do mapa de variância da KO (Figura 3). Pela Fig. 5a verifica-se que há presença de autocorrelação entre as amostras a até 27 km, para o azimute de anisotropia de 70° e a até 36 km, para o azimute de 160°. Distâncias superiores aos 10 km empregados, inicialmente, na amostragem do IFFSC (IFFSC, 2013).

Esta superamostragem não ocorreu igualmente em toda a área. A variância do estoque de biomassa calculada pelo Inventário foi de 5072,29 Mg².ha⁻². Pela Figura 5b, nota-se que as áreas situadas ao Oeste apresentam a maior variância de erro da KO, enquanto as áreas à Leste estão mais bem representadas. Ressalva-se que este comportamento pode, em alguns casos, devido à estacionariedade atribuída, apresentar maiores erros (variância) em valores estimados que se encontrem mais distantes da média e não apenas a intensidade amostral (SOARES, 2000).

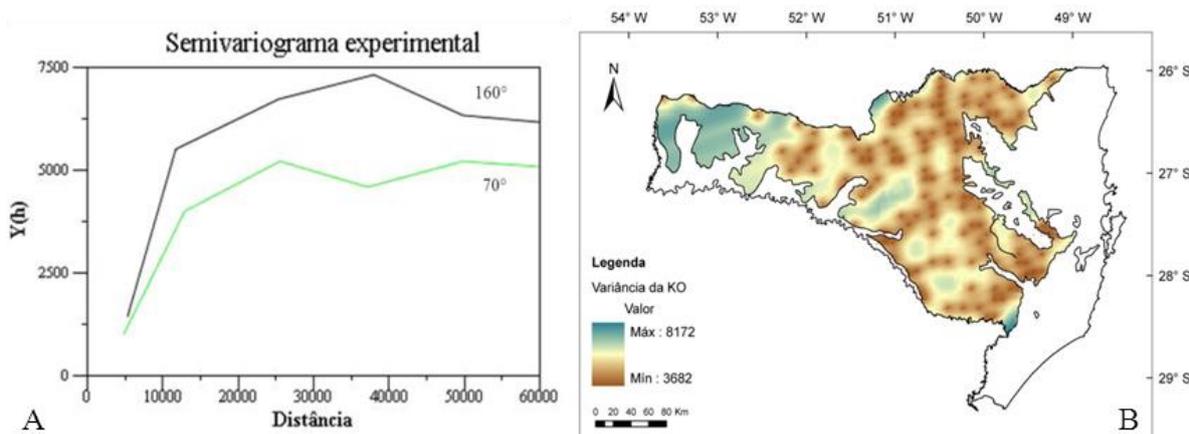


Figura 5. A) Semivariograma experimental da Krigeagem Ordinária de Biomassa; B) Variância da KO.
 Figure 5. A) Experimental semivariogram of Ordinary Kriging of biomass; B) Variance of OK.

CONCLUSÕES

O estoque de biomassa na Floresta Ombrófila Mista de Santa Catarina foi calculado em 1,3 x 10⁸ Mg;

As técnicas de análise espacial obtiveram resultado semelhante ao do Inventário, com variações inferiores a 5%, sendo que a KI para a mediana subestimou o estoque e as demais técnicas superestimaram o estoque de

biomassa;

Houve correlação espacial significativa entre as Unidades Amostrais até 27 km para o azimute de 70° e de até 36 km para o azimute de 160°, demonstrando que a grade regular de 10 x 10 km superamostrou a variável biomassa na maior parte da área;

A região Oeste de Santa Catarina apresentou erro da variância da Krigeagem Ordinária superior ao do Inventário, inferindo que houve insuficiência amostral naquela região;

As técnicas de análise espacial demonstram ser uma ferramenta importante não somente para especializar a biomassa na área de estudo como inferir sobre a intensidade amostral e a variabilidade espacial do atributo;

AGRADECIMENTOS

Aos integrantes do IFFSC, especialmente ao Alexander C. Vibrans, pela disponibilização dos dados para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- CAMARGO, E.C.G. *et al.* Análise espacial de superfícies. In: DRUCK, S. *et al.* (eds) *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília: EMBRAPA, Cap. 3, p. 15-52. 2004.
- CARUSO, C.; QUARTA, F. Interpolation methods comparison. *Computers & Mathematics with Applications*, v. 35, n. 12, p. 109–126, 1998.
- CURRAN, P.J.; ATKINSON, P.M. Geostatistics and remote sensing. *Progress in Physical Geography*, v. 22, p. 61–78, 1988.
- FREEMAN, E.; MOISEN, G. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 128, p. 395–410, 2007.
- HERO, J.M. *et al.* Biomass estimation within an Australian eucalypt forest: Meso-scale spatial arrangement and the influence of sampling intensity. *Forest Ecology and Management*, v. 310, p. 547-554, 2013.
- HOUGHTON, R.A. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*, v. 7, p. 731-746, 2001.
- Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) - Floresta Ombrófila Mista. V. III. Alexander Vibrans *et al.* [eds.]. EdUFurb: Blumenau, 2013. 435p.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA R.M. *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 560p.
- KLEIN, R.M. Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. In: REITZ, R. (ed.). *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues. 1978.
- KÖHL, M.; MAGNUSSEN, S.S.; MARCHETTI, M. *Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multisource Forest Inventory*. Springer, 2006, 367 p.
- RATUCHNE, L.C. *Ajuste e Seleção de Equações Alométricas para a Estimativa de Biomassa, Carbono e Nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista*. 102 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, UNICENTRO/PR, Guarapuava, 2010.
- SALES, M.H. *et al.* Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: a case study for Rondônia, Brazil. *Ecological Modelling*, v. 205, p. 221-230, 2007.
- SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R. Metodologias para a determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. *et al.* *Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas*. Curitiba: AM Impressos, Cap. 5, p. 77-93, 2004.
- SOARES, A. *Geoestatística para ciências da terra e do ambiente*. Lisboa: IST Press. 2000. 206 p.

SOARES, C.P.B. *et al.* *Dendrometria e Inventário Florestal*. Editora UFV: Viçosa, MG, 2006, 276 p.

SOS Mata Atlântica. Shapefiles dos remanescentes florestais 2011/12. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/dados/>. Acesso em: 23/07/2013.

VIANA, H. *et al.* Estimation of crown biomass of *Pinus pinaster* stands and shrubland above-ground biomass using forest inventory data, remotely sensed imagery and spatial prediction models. *Ecological Modelling*, v. 226, p. 22-35, 2012.

VIBRANS, A.C. *et al.* Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. *Remote Sensing of Environment*, v. 130, p. 87-95, 2013.