

PÓS-GRADUAÇÃO

SENSORIAMENTO REMOTO



ESTIMATIVA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA BIOMASSA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Henrique Luis Godinho Cassol

SER301 - Análise Espacial de Dados Geográficos



- INTRODUÇÃO

- MATERIAIS E
MÉTODOS

- RESULTADOS

- CONCLUSÕES

- REFERÊNCIAS



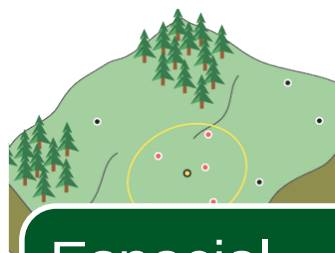
INTRODUÇÃO

- Estimativas de biomassa: diretas e indiretas;
- Estimativas de uma população florestal: inventário;



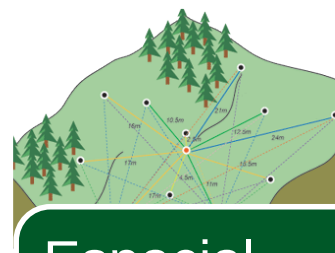
Não-espacial

- Estatístico
- Inventário



Espacial

- Determinístico
- IQD



Espacial

- Estocásticos
- Krigagem



INTRODUÇÃO

Objetivos

- Estimar a biomassa da Floresta Ombrófila Mista (FOM) com distintos métodos:
 - Não-espacial – Inventário florestal (Intervalo de Confiança);
 - Espacial (determinístico) – Inverso do quadrado da distância (IQD);
 - Espacial (estocástico) – Krigagem Ordinária (KO) e Krigagem por indicação (KI);
- Avaliar a distribuição da biomassa na FOM e os resultados da interpolação;



MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

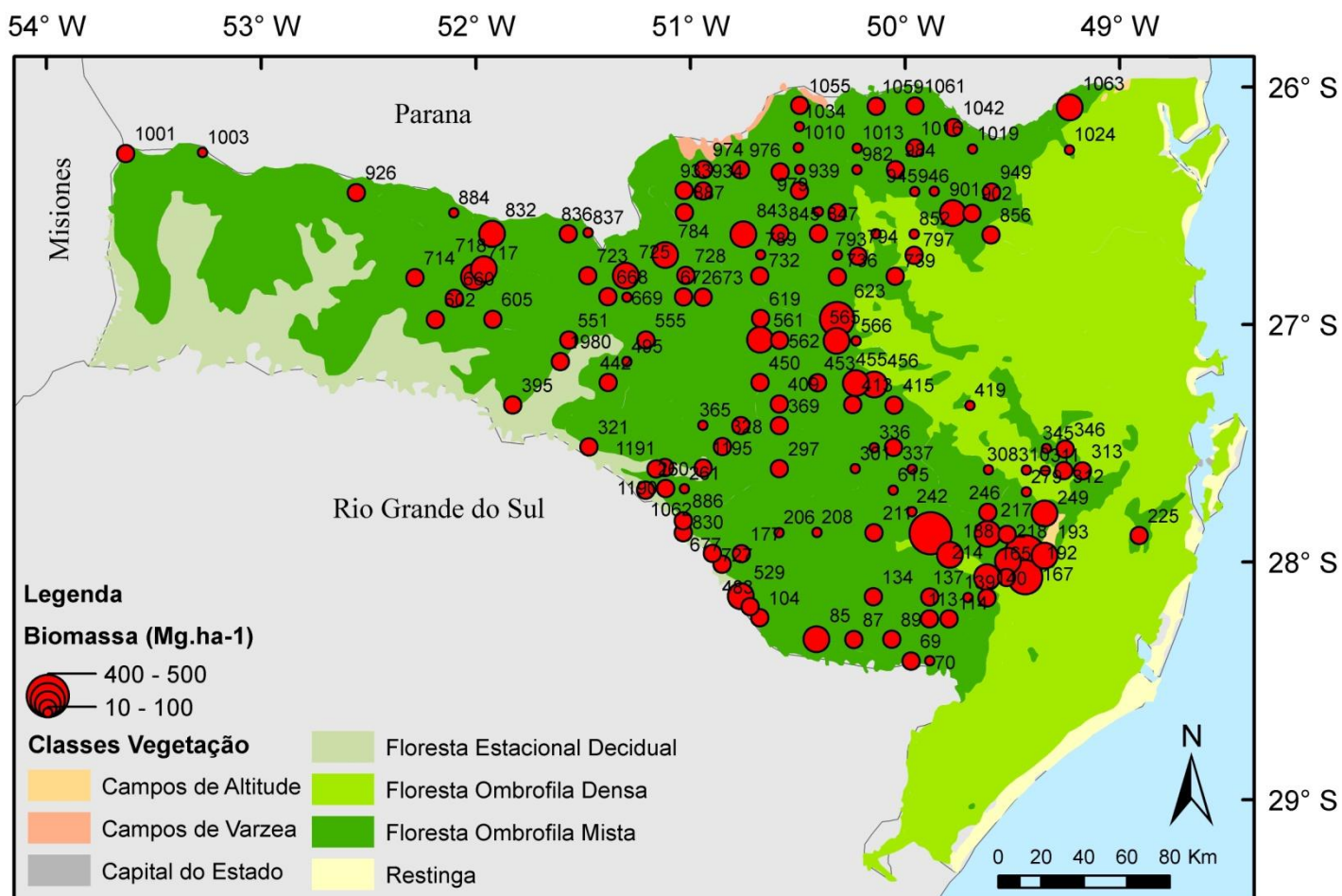


Figura 1. Localização espacial das Unidades Amostrais pertencentes ao domínio da Floresta Ombrófila Mista.



- A biomassa de cada parcela foi estimada pela seguinte equação alométrica (Ratuchne, 2010):

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

Onde: PS = peso seco, em $Mg.ha^{-1}$;
 d = diâmetro à altura do peito, em centímetros;
 Ht = altura total da árvore, em metros;

Sendo:

- A equação hipsométrica ajustada (IFFSC, 2013)



MATERIAIS E MÉTODOS

Remanescentes

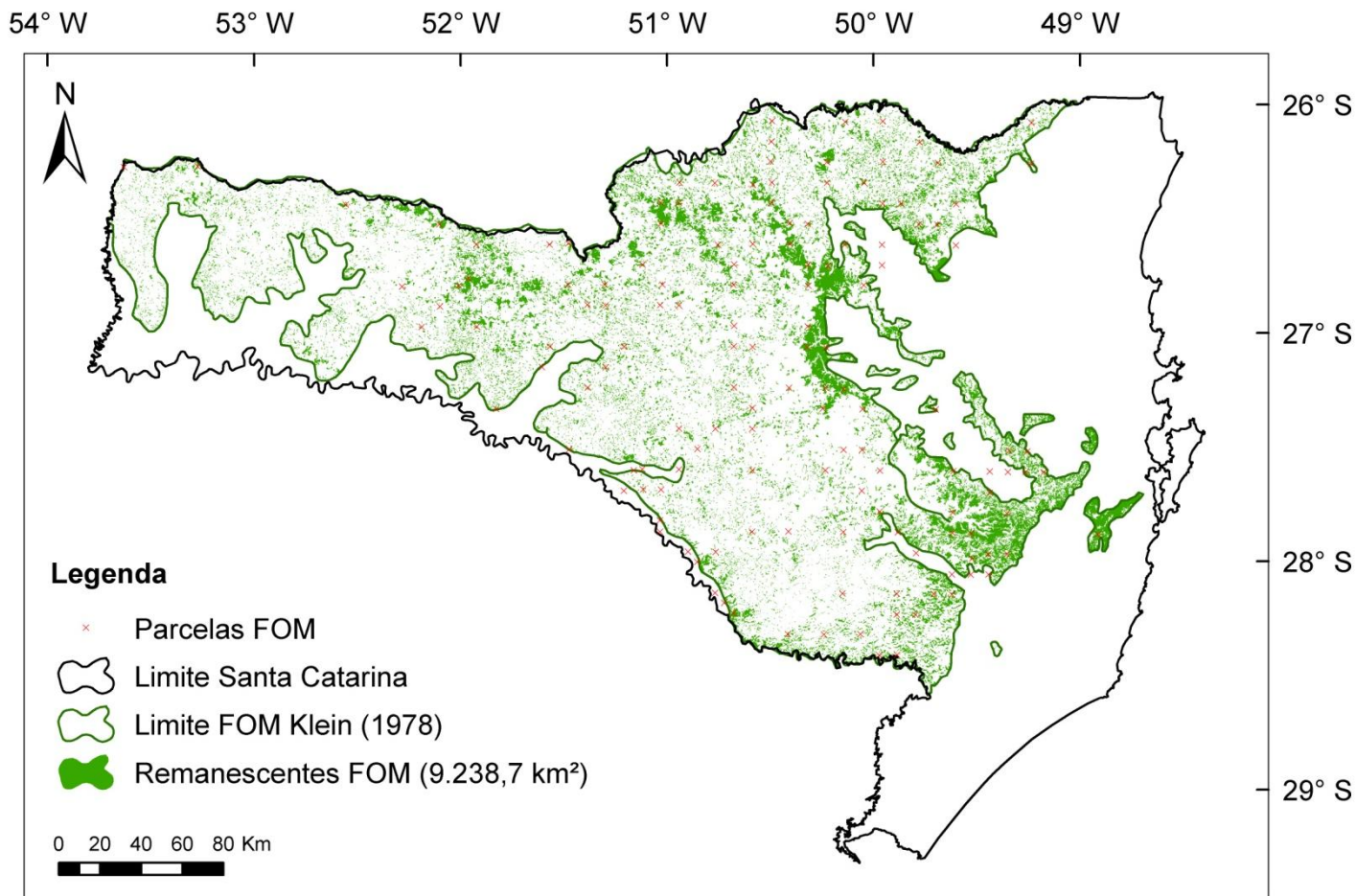
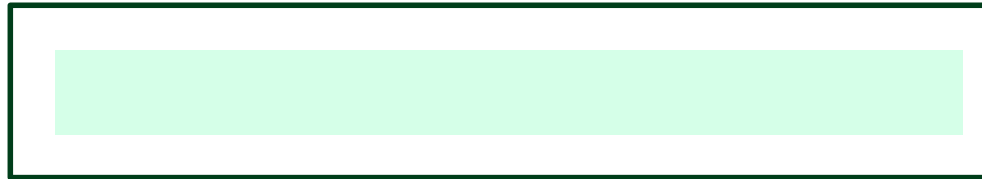


Figura 2. Remanescentes de Floresta Ombrófila Mista 2011/12.



- Inventário:

- O intervalo de confiança de uma população infinita pode ser representado por (KÖHL et al. 2006):



Onde: IC = intervalo de confiança;

$\bar{x}$ = estimativa do total da população, dada por: $\bar{x} \cdot N$;

N = total da população (área da FOM, em hectares);

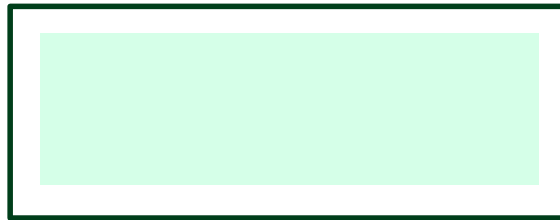
$\bar{x}$ = média amostral, em Mg;

e = erro amostral absoluto, em Mg, baseando-se em uma distribuição normal ;

P = nível de confiança estabelecido ($P = 95\%$).



- Inverso do quadrado da distância:
 - O interpolador inverso do quadrado da distância (IQD) é um estimador determinístico local que consiste em atribuir maior peso à amostra mais próxima daquela que se deseja estimar (Camargo et al. 2004). É dado por:



Parâmetros de entrada: Raio de 150 km e saída de 100 x 100 m



- Krigeagem Ordinária:
 - O interpolador de Krigeagem Normal ou Ordinária é uma combinação linear de um conjunto de N variáveis vizinhas de x_0 : $Z(x_i)$, $i = 1, \dots, N$. Dado por (Soares, 2000):

$$\begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Z(x_1) \\ \vdots \\ Z(x_N) \end{pmatrix} = Z(x_0)$$

Onde: $Z(x_0)$ = ponto a estimar;
 $\begin{pmatrix} \end{pmatrix}$ = valor das amostras;
 $\begin{pmatrix} \end{pmatrix}$ = peso das amostras no estimador.



- Passos da Krigagem Ordinária:
 - Análise exploratória dos dados: estacionariedade, normalidade e tendência espacial;
 - Análise da correlação espacial pelo semivariograma omnidirecional e de superfície (anisotropia);
 - Ajuste do semivariograma experimental (modelo teórico);
 - Validação do modelo de ajuste (validação cruzada e histograma dos erros);
 - Krigagem propriamente dita (atribuição dos pesos às amostras);
 - Avaliação da distribuição e da variabilidade espacial dos erros;



- Krigeagem por Indicação:

- O interpolador de Krigeagem por indicação busca encontrar a função de distribuição condicional cumulativa (fdc) para a variável aleatória de modo a diminuir o enviesamento sistemático da distribuição de probabilidade (Soares, 2000).
- 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 $Z(x) \geq z$. Na KI Ordinária $I_z(x_0)$ é estimado por uma combinação linear de $I_z(x_i)$ das amostras vizinhas de x_0 :

$$[()] \quad ()$$

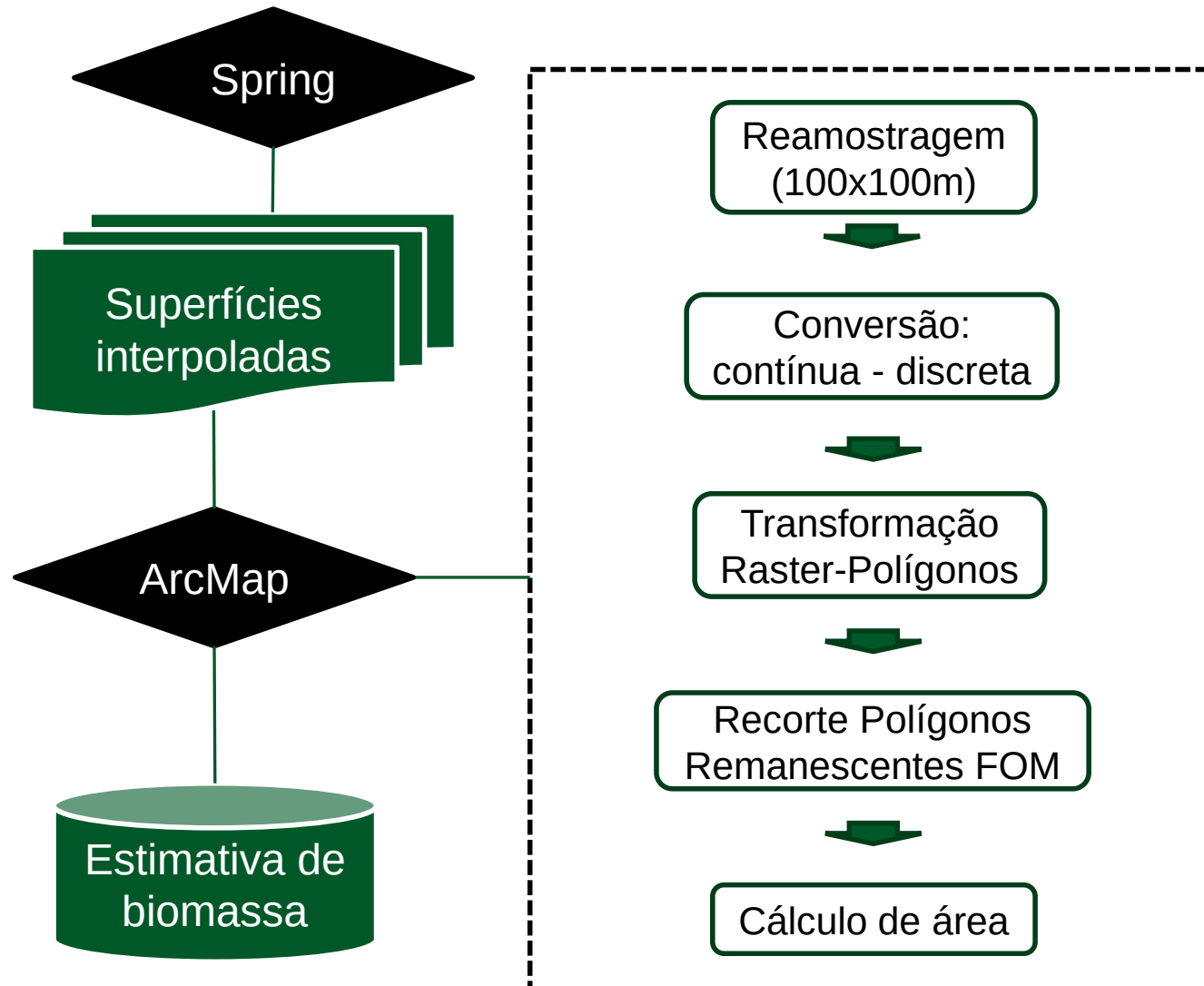


- Passos da Krigagem por Indicação:
 - Definição dos cortes: $105,69 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (0,33), $154,64 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (0,66) e 220 Mg.ha^{-1} (0,89);
 - Ajuste do semivariograma para cada corte;
 - Krigagem por indicação para a média e para a mediana;
 - Avaliação da distribuição e da variabilidade dos erros;



MATERIAIS E MÉTODOS

Estimativa Total



RESULTADOS

Exploratórios

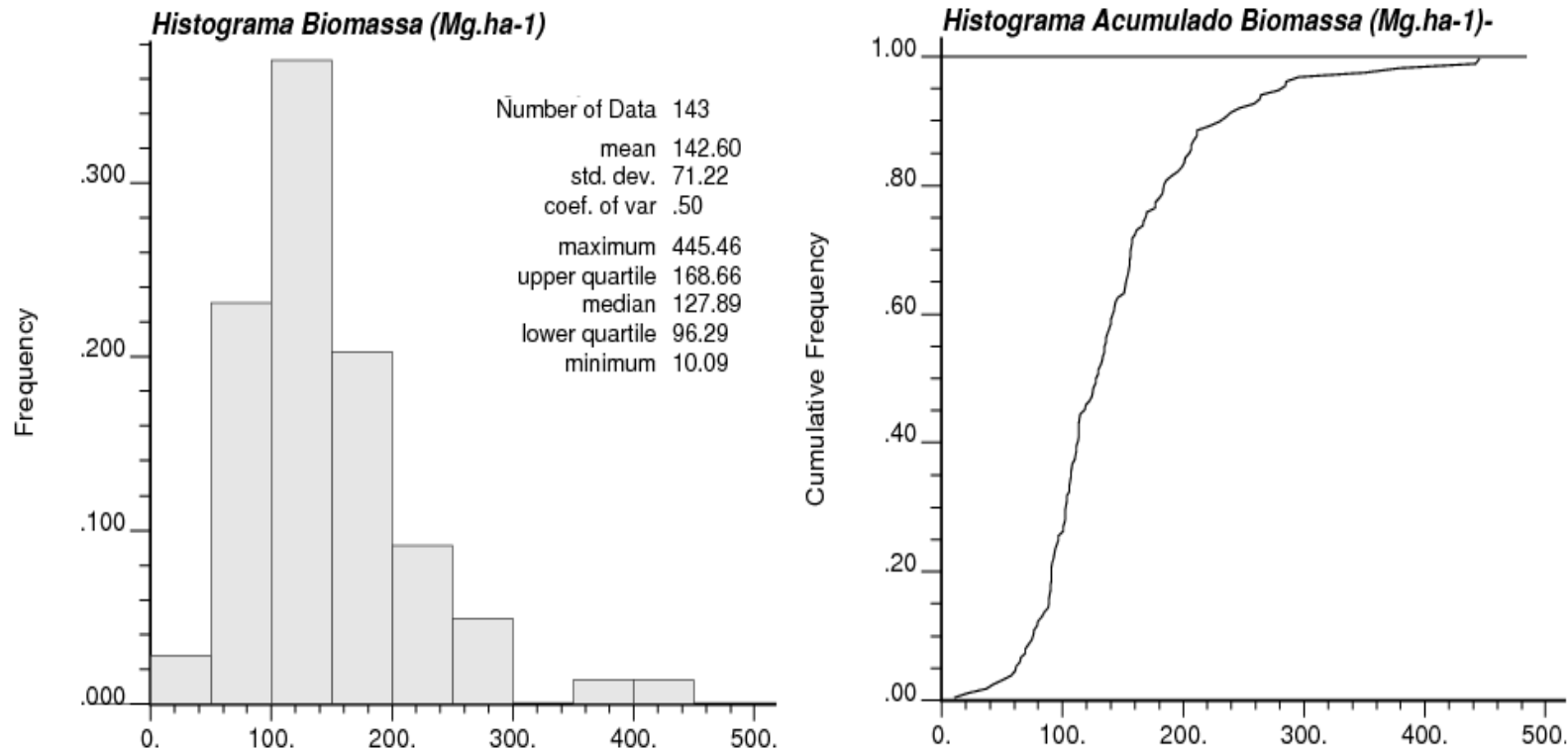


Figura 3. Histograma das frequências e histograma acumulado da variável biomassa.

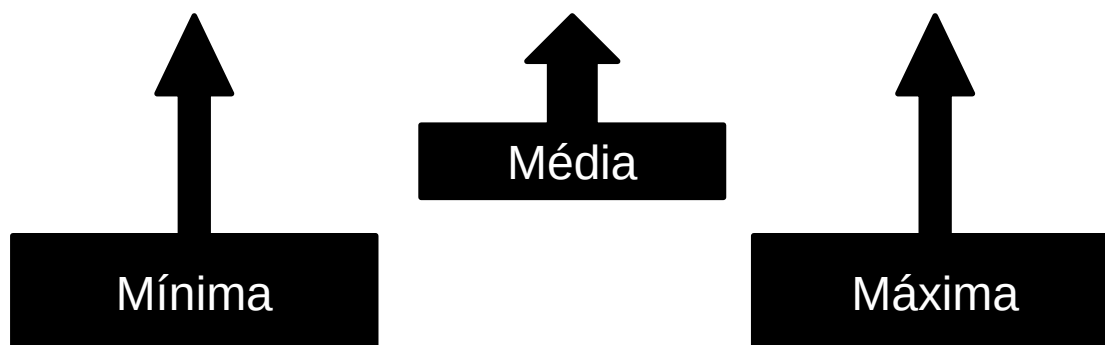


RESULTADOS

Inventário (IC)

- Considerando a área total dos remanescentes florestais de 2011/12 de aprox. 923.870 hectares, tem-se um intervalo de confiança de:

$$\text{IC} = [0,3 \times 10^8 \text{ Mg} \leq 1,3 \times 10^8 \text{ Mg} \leq 2,6 \times 10^8 \text{ Mg}] = 95\%$$



RESULTADOS

Espacial (IQD)

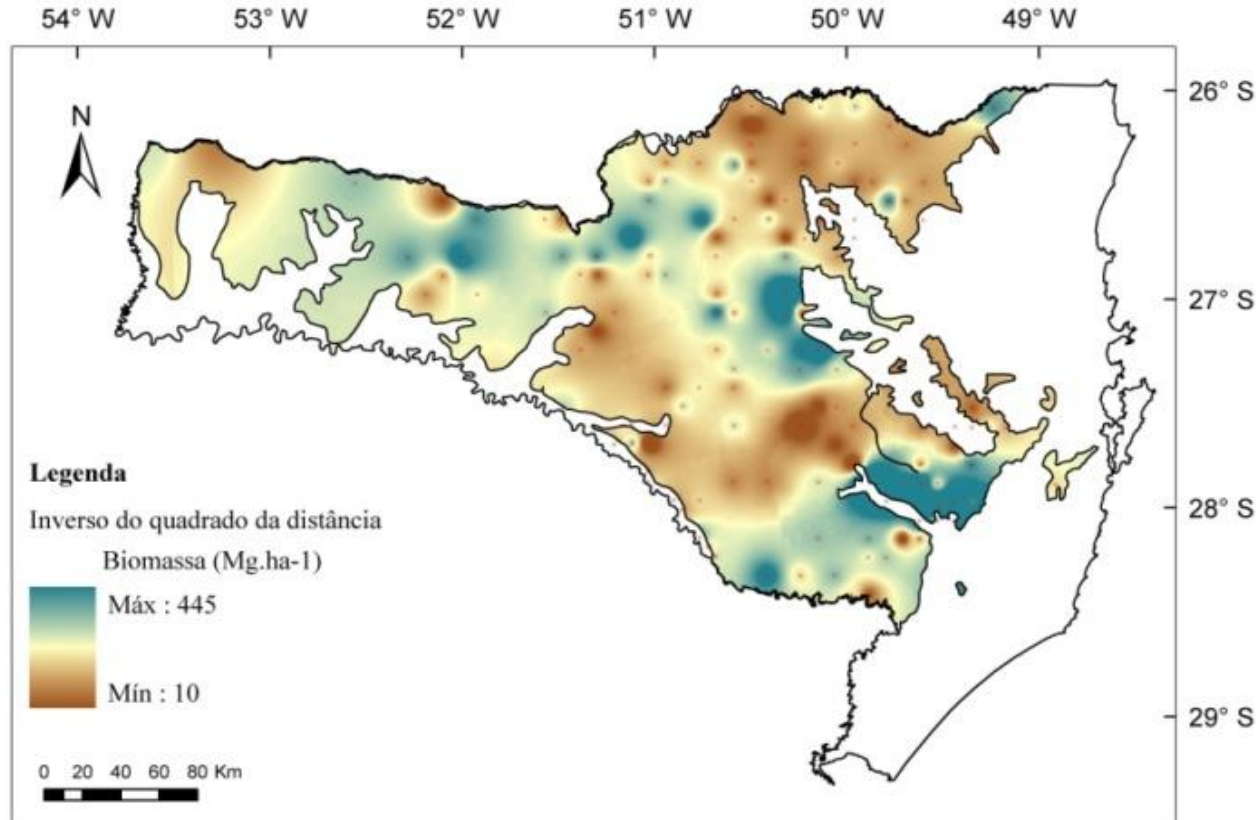


Figura 5. Superfície de biomassa florestal gerada pelo inverso do quadrado da distância.

- Superfície descontínua;
- Conserva os extremos;
- Sensível ao raio de busca e agrupamentos;



RESULTADOS

Espacial (KO)

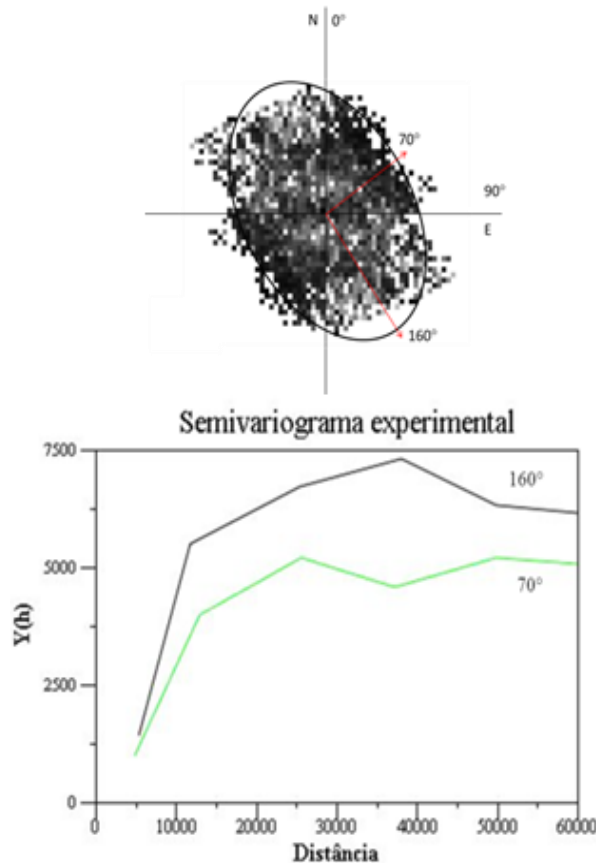
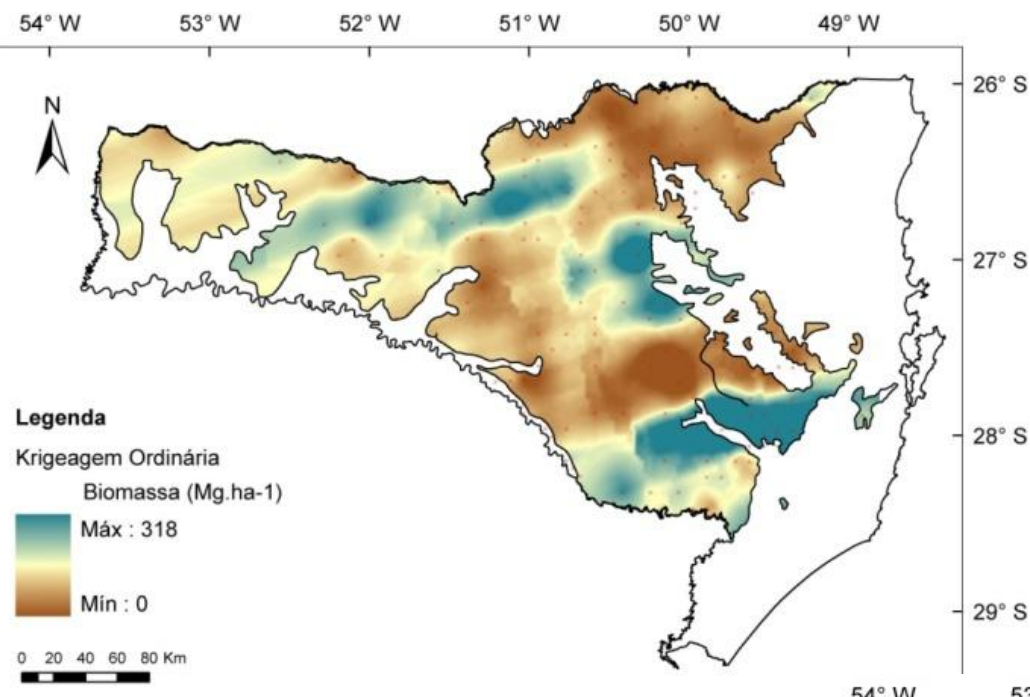


Tabela 1. Parâmetros do modelo de semivariograma anisotrópico

Número de estruturas		3	
Efeito pepita inicial		1500	
Primeira estrutura – Tipo: Esférico			
Contribuição	1000	Ângulo de anisotropia	70°
Alcance Mínimo	$\varepsilon = 0,00001$	Alcance máximo	27.000
Segunda estrutura – Tipo: Esférico			
Contribuição	2500	Ângulo de anisotropia	160°
Alcance Mínimo	27.000	Alcance máximo	36.000
Terceira estrutura – Tipo: Esférico			
Contribuição	2000	Ângulo de anisotropia	70°
Alcance Mínimo	36.000	Alcance máximo	1.000.000

Figura 6. a) Variograma de superfície, mostrando os dois eixos de anisotropia 70° e 160°; b) Semivariograma experimental nos dois eixos principais de anisotropia: Tol. 12.500 m, Incrém. 6.250 m e 4 lags.



- Superfície menos descontínua;
- Segue os eixos da anisotropia;

Figura 7. Superfície de biomassa florestal gerada pela *Krigeagem ordinária*.

- Variância homogênea;
- Alta no oeste por conta da baixa intensidade amostral;

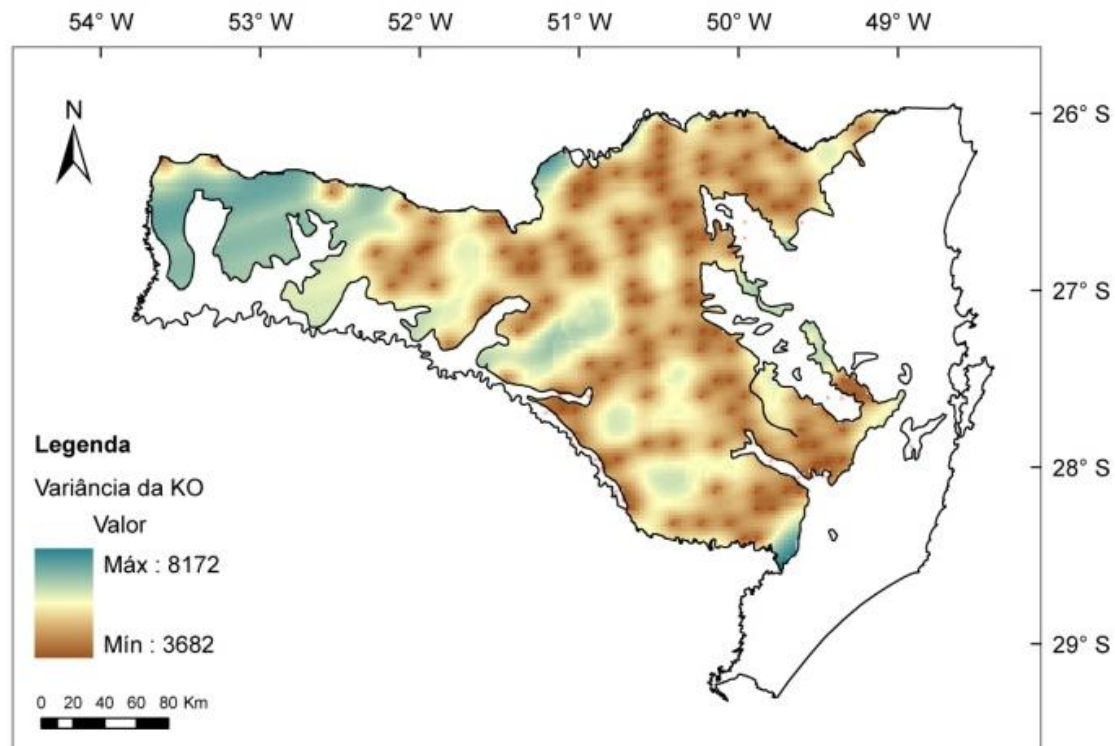
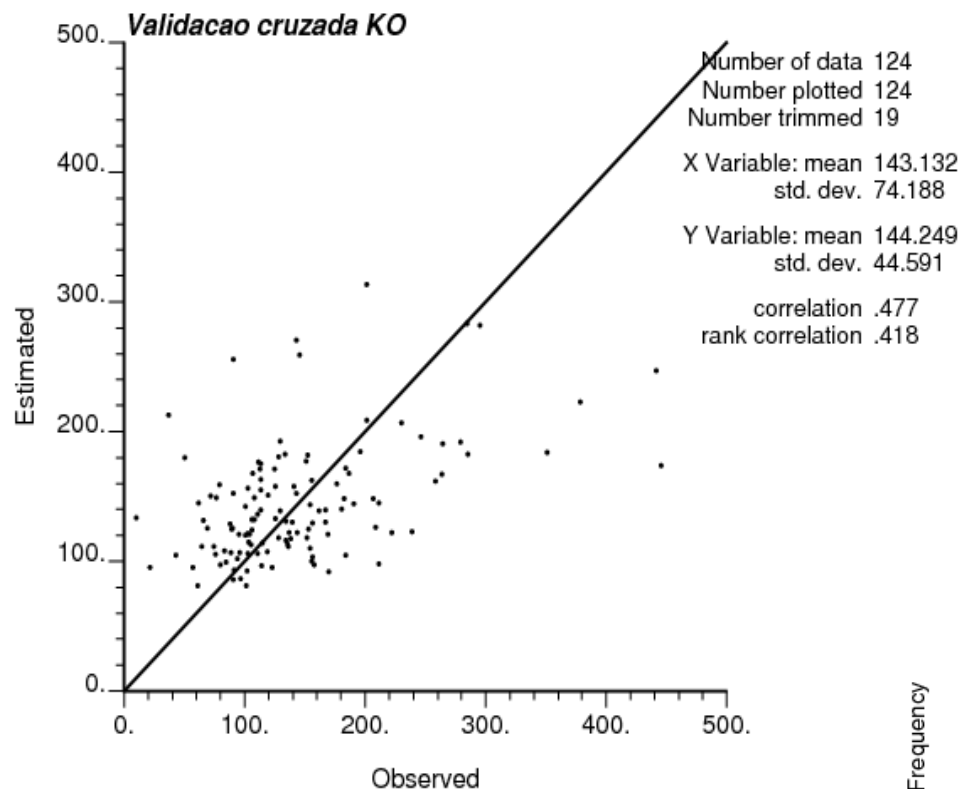


Figura 8. Superfície de variância da KO.

RESULTADOS

Erros (KO)



- Tendência a ter maiores erros em valores mais afastados da média;

- Média quase nula;

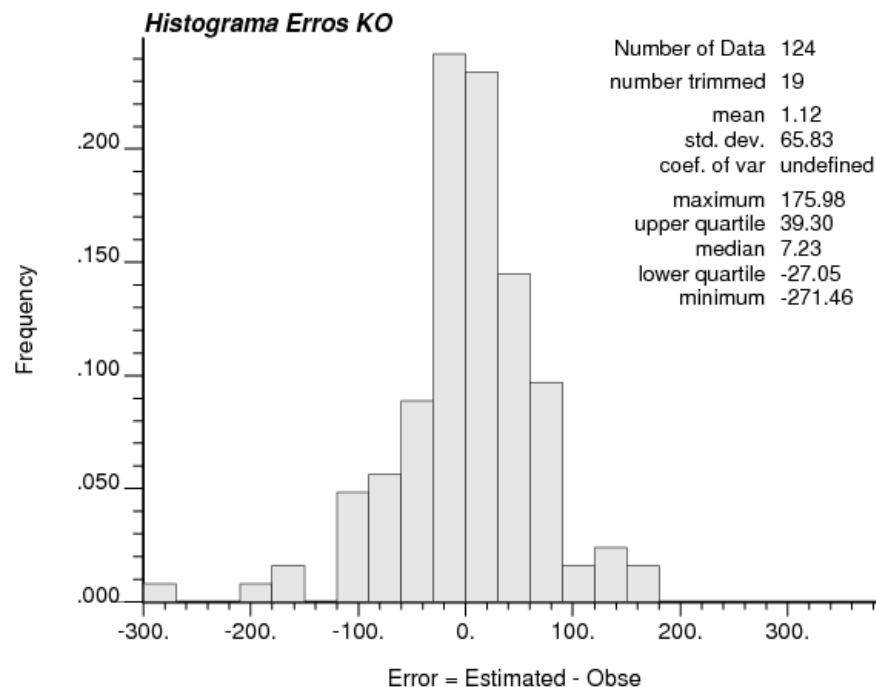


Figura 9. a) Validação cruzada entre os pontos observados e estimados e; b) Histograma dos erros da KO.

RESULTADOS

Espacial (KI)

Tabela 2. Parâmetros de corte utilizados para gerar os semivariogramas por indicação.

Número de cortes				3							
Corte	105,69			Corte	154,64			Corte	220		
Lag	6	Incremento	12.500	Lag	6	Incremento	14.500	Lag	6	Incremento	12.500
Pepita	0,153	Contribuição	0,078	Pepita	0,168	Contribuição	0,049	Pepita	0,076	Contribuição	0,035
Alcance máx	65.000	Alcance mín	65.000	Alcance máx	45.000	Alcance mín	53.000	Alcance máx	53.000	Alcance mín	53.000

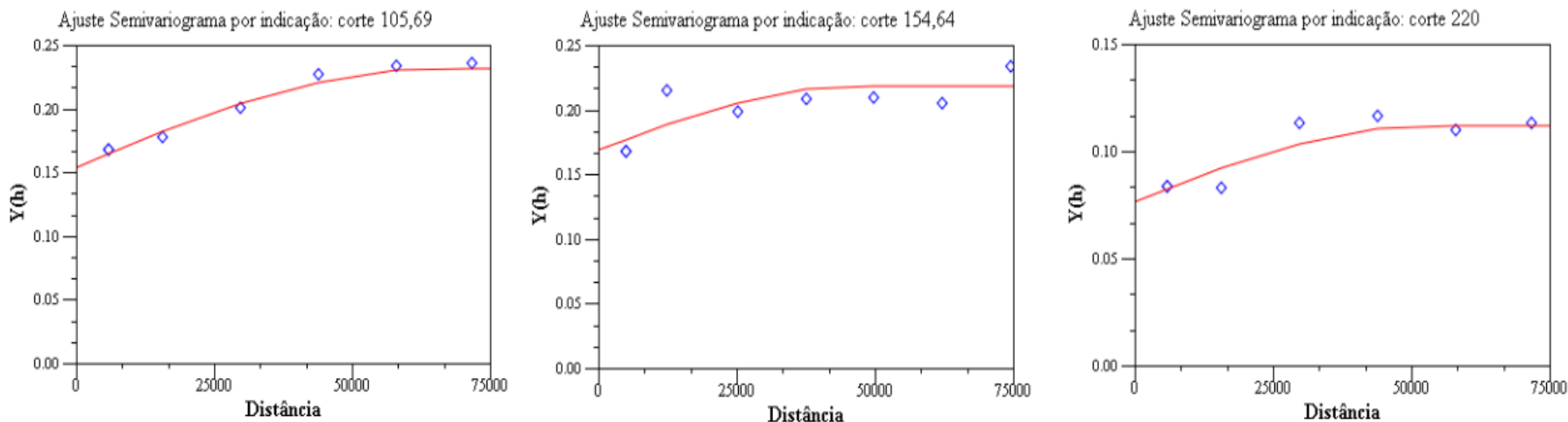


Figura 10. Ajuste dos semivariogramas esféricos para os três cortes 105,69, 154,64 e 220 Mg.ha⁻¹, respectivamente.

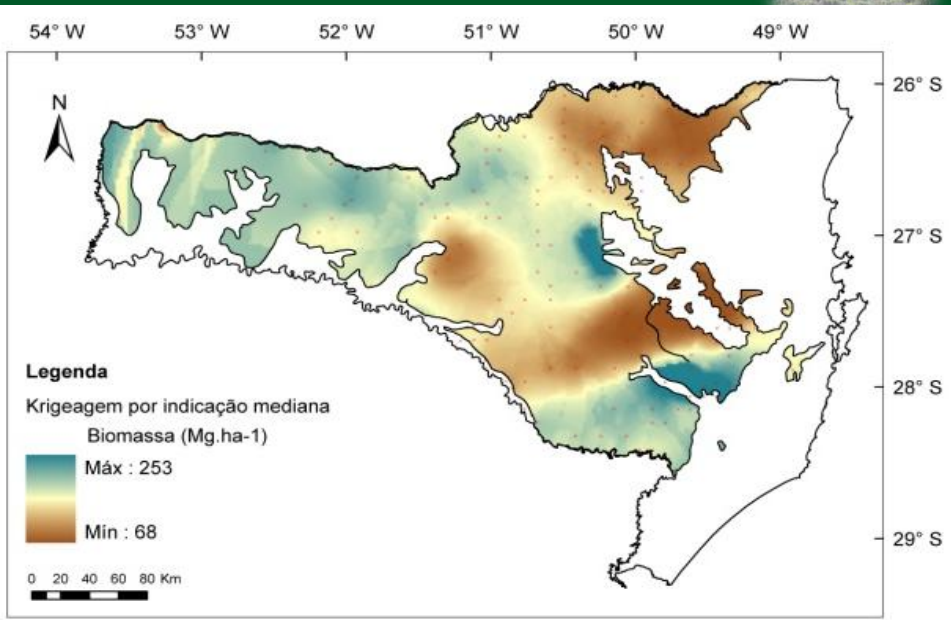
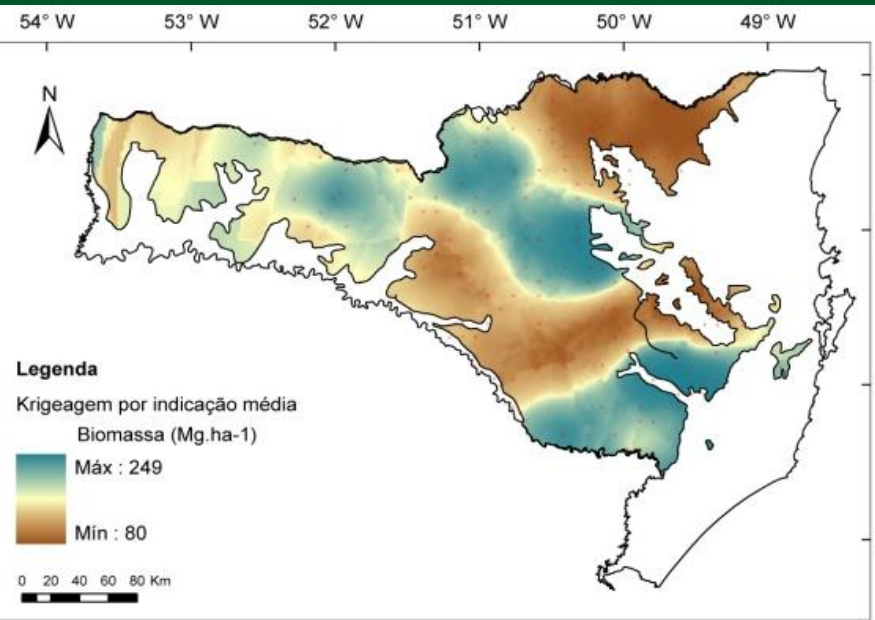


Figura 11. a) Krigeagem por indicação para a média;

b) Krigeagem por indicação para a mediana.

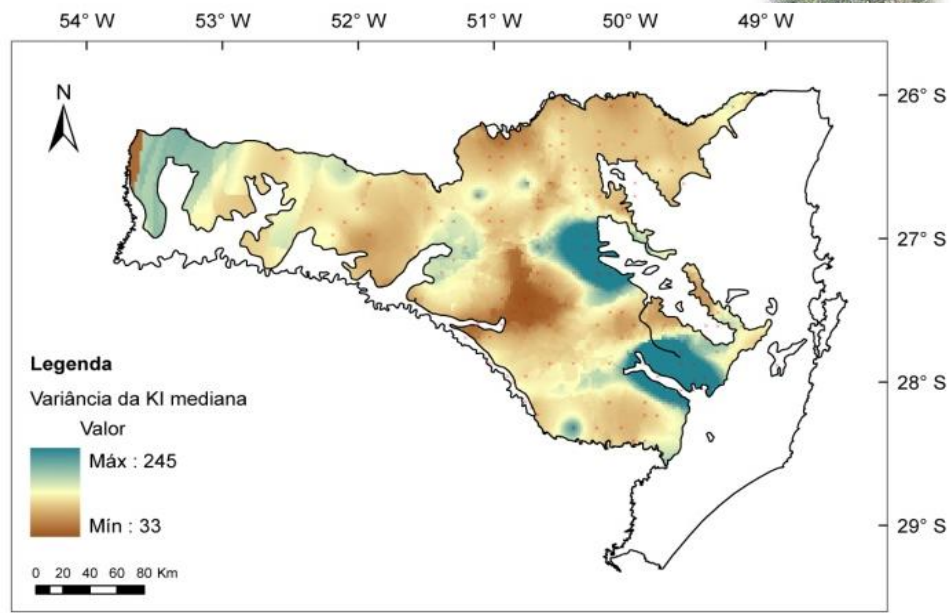
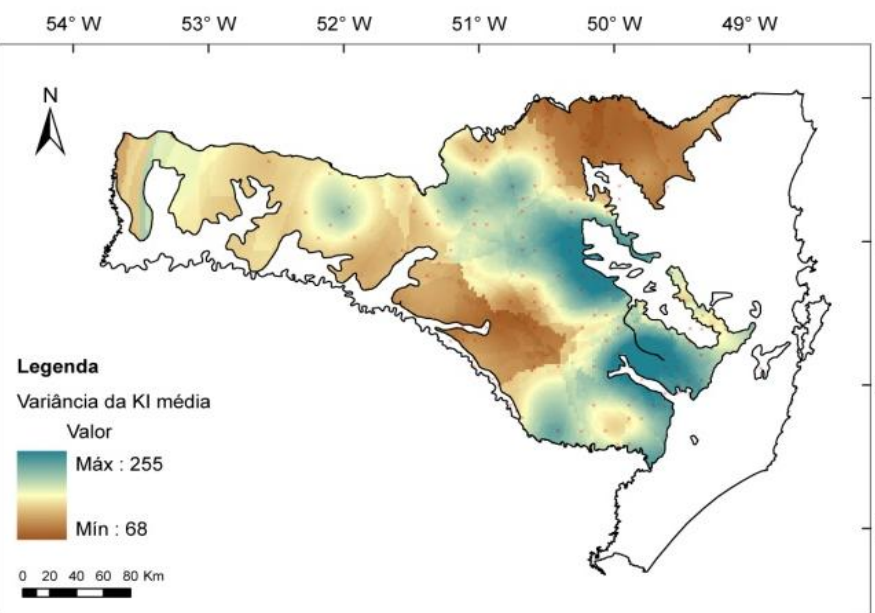


Figura 12. a) Variância da Krigeagem por indicação para a média; b) Variância da Krigeagem por indicação para a mediana.

RESULTADOS

Comparação

Tabela 3. Comparação entre métodos de estimativa de biomassa.

Método	IC	IQD	KO	KI média	KI mediana
Estimativa (Mg)	$1,32 \times 10^8$	$1,38 \times 10^8$	$1,38 \times 10^8$	$1,36 \times 10^8$	$1,27 \times 10^8$
Desvio de IC (Mg)		$0,07 \times 10^8$	$0,07 \times 10^8$	$0,04 \times 10^8$	$-0,05 \times 10^8$
Desvio de 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*.

- A diferença foi inferior a 5% do resultado obtido pelo inventário (sem análise espacial);
- Os métodos que envolvem a média no estimador (IQD, KO e KI) foram semelhantes e superestimaram a biomassa;
- A KI mediana subestimou o valor;



CONCLUSÕES

- Não há diferença significativa entre o inventário (não-espacial) e as estimativas utilizando-se de análise espacial (<5%);
- Como os dados estão bem comportados (normalidade), a Krigeagem Ordinária e a Krigeagem por indicação Ordinária para a média obtiveram resultados próximos ao do inventário; Semelhante observação pode ser feita para o IQD;
- Devido à pequena diferença entre a estimativa sem análise espacial e com análise espacial conclui-se que:
 - Não se justifica o uso de técnicas de análise espacial para estimar a biomassa na FOM;
 - Por outro lado, os mapas parecem indicar a variabilidade e a distribuição de biomassa na FOM;



REFERÊNCIAS

- CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S.D.; CAMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).
- GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York : Oxford University Press, 1997. 483p.
- HOUGHTON, R.A.; LAWRENCE, K.T.; HACKLER, J.L.; BROWN, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**. v. 7, p. 731–746. 2001.
- SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: IST Press. 2000. 206p.
- SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Editora UFV: Viçosa, MG. 2006. 276p.

