

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**GEOESTATÍSTICA APLICADA AO MANEJO
FLORESTAL EXPERIMENTAL EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Lúcio de Paula Amaral

Santa Maria, RS, Brasil

2014

GEOESTATÍSTICA APLICADA AO MANEJO FLORESTAL EXPERIMENTAL EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Lúcio de Paula Amaral

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologia em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**

Orientador: Professor Dr. Elódio Sebem

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Amaral, Lúcio de Paula
Geoestatística aplicada ao manejo florestal
experimental em Floresta Ombrófila Mista. / Lúcio de
Paula Amaral.-2014.
90 p.; 30cm

Orientador: Elódio Sebem
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2014

1. Floresta de precisão 2. Manejo florestal de
precisão 3. Agricultura de precisão I. Sebem, Elódio II.
Título.

©2014

Todos os direitos autorais reservados a Lúcio de Paula Amaral. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

E-mail: lpamaralengflorestal@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico da UFSM
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**GEOESTATÍSTICA APLICADA AO MANEJO FLORESTAL
EXPERIMENTAL EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

elaborada por
Lúcio de Paula Amaral

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Elódio Sebem, Dr.
(Presidente/Orientador)

Luciano Farinha Watzlawick, Dr. (UNICENTRO)

Rudiney Soares Pereira, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 30 de janeiro de 2014.

BIOGRAFIA

Lúcio de Paula Amaral, filho de José Ulisses Amaral e Vera Lúcia de Paula Amaral, agricultores, nasceu em Itararé, Estado de São Paulo, aos 28 de junho de 1981.

Cursou a primeira e a segunda série em escolas públicas na zona rural de Itararé-SP, e concluiu o primeiro grau na EEPG “Professora Adelaide de Oliveira Terron”, no Distrito de Santa Cruz dos Lopes, no mesmo município.

Cursou o segundo grau, entre os anos de 1996 e 1998, concomitantemente como o curso Técnico em Contabilidade na EMSEGES “Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira”, a conhecida “Escola de Comércio de Itararé”.

Em junho de 2000, concluiu o curso de Técnico Florestal, pela ETE “Dona Sebastiana de Barros” - CEETESP, Colégio Agrícola de São Manuel-SP.

Concluiu o curso de graduação em Engenharia Floresta, em 08 de dezembro de 2006, pela Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Campus de Botucatu-SP, momento em que também recebeu da Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais - FEPAF, o “**Prêmio FEPAF de Destaque em Pesquisa**”.

Possui Especialização em Geomática, pelo Programa de Pós-Graduação em Geomática da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, obtido em janeiro de 2008. Possui também, Mestrado em Agronomia, pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, Guarapuava-PR, título obtido em maio de 2010.

Em setembro de 2010, retorna a UFSM, para iniciar o curso de Doutorado em Engenharia Florestal, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Em março de 2012, ingressou no curso de Mestrado em Agricultura de Precisão, do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, que agora encerra com a defesa da presente Dissertação de Mestrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por colocar em meus caminhos pessoas boas e oportunidades apropriadas, que me permitiram obter importantes conquistas.

Agradeço ao meu orientador, colega de trabalho e amigo, Prof. Dr. Elódio Sebern, pela confiança depositada, orientação dedicada, troca de conhecimentos realizada e amizade formada durante minha permanência no Colégio Politécnico da UFSM.

Agradeço também, ao Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão pela oportunidade concedida. A todos os professores do curso, pelos ensinamentos transmitidos em suas respectivas disciplinas. Aos demais colegas de curso, pela amizade, interação e troca de experiências, que foram muito ricas.

A Regiane, minha querida companheira de todos os momentos, por estar sempre disposta a aceitar novos projetos e desafios, onde quer que seja. Agradeço, em especial, pelo amor, carinho e cuidados dedicados à nossa vida, e pela luta para tornar-nos profissionais de qualidade, independentemente da tarefa que nos é cobrada.

Agradeço, de forma especial, aos meus pais, José Ulisses Amaral e Vera Lúcia de Paula Amaral, e à toda minha família, que compreendem a minha ausência, pela saudade e pela falta de convívio durante todos esses anos, que a busca por formação qualificada e melhores condições de vida nos impõe. À eles, que me deram os primeiros ensinamentos e apoio incondicional, que foram a base para a formação profissional e formação de um cidadão de bem, o meu muito obrigado.

Aos amigos, Paula Leticia Wolff Kettenhuber, Régis Villanova Longhi, que participaram ativamente deste trabalho, disponibilizando dados, trabalhando no seu processamento, análise e interpretação, sem os quais não seria possível obter a presente dissertação de mestrado. Ao amigo, Gerson dos Santos Lisboa, que também fez importantes contribuições à este trabalho, mediante sugestões e correções para o mesmo, além da amizade e convívio durante nossa permanência na UFSM, em Santa Maria-RS.

A todos aqueles, orientadores, professores, amigos e colegas de trabalho ou de estudos, que permito-me não citar nomes para não cometer nenhuma injustiça, pois recebi muita ajuda e incentivos destas pessoas em vários momentos, para chegar até aqui, contribuindo para que hoje, eu possa concluir este curso de Mestrado em Agricultura de Precisão.

“Dá-me um ponto de apoio,
e eu moverei o mundo”

(Arquimedes)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

GEOESTATÍSTICA APLICADA AO MANEJO FLORESTAL EXPERIMENTAL EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

AUTOR: LÚCIO DE PAULA AMARAL

ORIENTADOR: ELÓDIO SEBEM

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de janeiro de 2014.

As florestas possuem estrutura espaço-temporal, e seu manejo pode ser auxiliado pela geoestatística. O presente trabalho teve como objetivo geral utilizar a geoestatística no manejo florestal experimental de Floresta Ombrófila Mista - FOM, no Rio Grande do Sul, tendo dois estudos de caso. Os objetivos específicos foram determinar zonas de produção para uma população de *Araucaria angustifolia*, e verificar a sensibilidade da geoestatística à diferentes intensidades de manejo (cortes seletivos), em distintas épocas, antes e após, a intervenção na floresta. O primeiro estudo foi realizado numa área de 11,35 ha, em Tapera, com uso de dados censitários de uma população de araucária, onde fez-se uma amostragem virtual. Foram utilizadas krigagem ordinária pontual e co-krigagem, aos dados de 52 unidades amostrais virtuais (30x30 m) obtidas. Foram ajustados semivariogramas cruzados, a partir da estrutura espacial do número de indivíduos, para área basal (G), volume (V), biomassa (B) e carbono (C), combinados por meio de álgebra de mapas para determinar as zonas de produção (ZP). O segundo foi realizado na Fazenda Tupi, em Nova Prata, com uso de parcelas de 0,50 ha, divididas em subunidades de 10x10 m, onde foram realizados cortes seletivos em 2002, com retirada de 0% (testemunha), 20% (corte leve), 40% (corte médio) e 60% (corte pesado) de área basal em todas as classes de diâmetro. Os inventários foram realizados em 2001 (pré-exploratório), 2006 e 2010 (1º e 2º monitoramentos). Os dados disponíveis dos mesmos foram G e volume comercial, organizados por subunidades. No primeiro trabalho foram obtidas zonas de baixa, média e alta produção (55,03; 35,54 e 9,43% da área do fragmento florestal, respectivamente). A floresta encontra-se sob distúrbio e a população apresentou distribuição diamétrica balanceada. No segundo estudo, o corte leve foi o que causou menores alterações na estrutura espacial da floresta, mais perceptível na superfície simulada em relação ao semivariograma, havendo a reposição da madeira retirada. A testemunha não mostrou-se mais estruturada que o mesmo, além de ter produzido menos madeira. Para o corte médio observou-se efeito pepita puro, pois este intensificou a aleatoriedade existente na parcela anteriormente à intervenção. Já no corte pesado, houve grandes mudanças na estrutura da floresta, onde zonas de altos valores de G e volume comercial passaram a ser zonas de baixos valores, devido a mortalidade de indivíduos remanescentes na primeira, e aos incrementos e ingressos ocorridos na segunda. O corte seletivo leve foi o mais indicado, e em relação a testemunha, apresentou-se menos estruturado espacialmente, porém mais produtivo. Conclui-se que a geoestatística pode ser utilizada no manejo florestal, pois detecta as mudanças na estrutura espacial da floresta e descreve o comportamento de variáveis.

Palavras-chave: Floresta de precisão. Manejo florestal de precisão. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

Master's Thesis
Graduate Program in Precision Agriculture
Universidade Federal de Santa Maria

GEOSTATISTICAL APPLIED TO EXPERIMENTAL FOREST MANAGEMENT IN MIXED OMBROPHILOUS FOREST

AUTHOR: LÚCIO DE PAULA AMARAL

ADVISER: ELÓDIO SEBEM

Date and Place of Defense: Santa Maria, January 30th, 2014.

Forests present spatial-temporal structure, and their management can be aided by geostatistics. The present study aimed to use geostatistics in the experimental forest management of Mixed Ombrophylous Forest (MOF), in Rio Grande do Sul, Brazil, with two case studies. The specific objectives were to determine areas of production for a population of *Araucaria angustifolia* and check the sensitivity of geostatistics to different intensities of management (selective wood harvesting), at different time points, before and after the intervention in the forest. The first study was carried out in an area of 11.35 ha in Tapera, using census data from a population of *Araucaria*, which was used as a virtual sampling. Punctual ordinary kriging and co-kriging were used to the data of 52 virtual sampling units (30x30m) obtained. Cross semivariograms were adjusted based on the spatial structure of the number of individuals for basal area (G), volume (V), biomass (B) and carbon (C) combined through the use of map algebra to determine the production zones (PZ). The second study was held in Tupi Farm, Nova Prata, using sample units of 0.50 ha, with subunits of 10x10 m, where selective wood harvestings were implemented in 2002, with the removal of 0 (control), 20 (light harvest), 40 (medium harvest) and 60% (heavy harvest) of basal area in all diameter class. Inventories were carried out in 2001 (pre-harvesting), 2006 and 2010 (1st and 2nd monitoring). The available data were basal area and commercial volume, organized by subunits. In the first study, low, medium and high production zones were obtained (55.03, 35.54 and 9.43 % for the area of forest fragment, respectively). We observed that the forest was under disturbance and the population had balanced diameter distribution. In the second study, the light harvesting caused the less changes in the spatial structure of the forest, more noticeable in the simulated surface relative to the semivariogram, with the replacement of the wood removed when compared to the others. The control area was not more structured than the light harvesting, besides producing less wood. To the medium harvesting we observed pure nugget effect because it intensified the existing randomness in the sample unit prior to the intervention. However, in the heavy harvesting, there were major changes in the forest structure, where areas of high basal and commercial volume areas have become low value areas due to the mortality of individuals remaining in the former, and to the increase and inflow of trees occurring in the latter. The light selective harvesting was the most suitable, and it was spatially less structured, but more productive when compared to the control. Therefore, geostatistics may be used in forest management since it detects changes in the spatial structure of the forest and describes the behavior of variables.

Keywords: Precision forest. Precision forest management. Precision agriculture

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Semivariograma conceitual (1.a) e modelos teóricos mais utilizados (1.b) (adaptado de CAMARGO, 2001) 16

ARTIGO 1

- Figura 1 – Localização do fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Tapera, no noroeste do Rio Grande do Sul 28
- Figura 2 – Ajuste geoestatístico do número de indivíduos de araucária: semivariograma isotrópico (a) e validação cruzada (b) 32
- Figura 3 – Mapa do número de indivíduos (a), área basal (b), volume (c), biomassa (d), carbono estocado (e) e das zonas de produção (f) para a população de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera-RS . 33
- Figura 4 – Classe diamétrica e hipsométricas com frequências observadas nas zonas de produção e população com número de árvores absoluto (4a e 4b) e relativos (4c e 4d) da população de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera-RS 35

ARTIGO 2

- Figura 1 – Disposição das parcelas de manejo experimental na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS 54
- Figura 2 – Variabilidade da área basal e volume em função dos diferentes cortes seletivos empregados em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS 58

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Tabela 1 – Estatística descritiva para a amostra virtual em grade da população de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera, RS 31
- Tabela 2 – Parâmetros semivariográficos das variáveis da população de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera, RS 32
- Tabela 3 – Estatística descritiva das variáveis da população por zona de produção de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera, RS 34

ARTIGO 2

- Tabela 1 – Estatística descritiva para área basal e volume nos anos avaliados em função dos diferentes cortes seletivos empregados em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS 57
- Tabela 2 – Parâmetros semivariográficos para área basal e volume nos anos avaliados em função dos diferentes cortes seletivos empregados em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS 59

LISTA DE APÊNDICES

ARTIGO 1

Apêndice A – Mapa da distribuição espacial do Número de Indivíduos	83
Apêndice B – Mapa da distribuição espacial da Área Basal	83
Apêndice C – Mapa da distribuição espacial do Volume	84
Apêndice D – Mapa da distribuição espacial da Biomassa	84
Apêndice E – Mapa da distribuição espacial do Carbono	85
Apêndice F – Mapa das Zonas de Produção de Araucária	85

ARTIGO 2

Apêndice A – Variabilidade da área basal (G) no tratamento corte seletivo leve empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS	86
Apêndice B – Variabilidade da área basal (G) no tratamento corte seletivo pesado empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS	87
Apêndice C – Variabilidade do volume comercial no tratamento testemunha empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS	88
Apêndice D – Variabilidade do volume comercial no tratamento corte seletivo leve empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS	89
Apêndice E – Variabilidade do volume comercial no tratamento corte seletivo pesado empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS	90

LISTA DE ABREVIATURAS

A	– alcance (m);
B	– biomassa acima do solo;
C	– carbono estocado na biomassa acima do solo;
C	– contribuição;
Co	– efeito pepita;
Co + C	– patamar;
CAP	– circunferência a altura do peito (cm);
DAP; di	– diâmetro a altura do peito (cm);
Dbm	– densidade básica da madeira g cm^{-3} ;
DE	– dependência espacial;
EPP	– efeito pepita puro;
FOM	– Floresta Ombrófila Mista;
G	– área basal (m^2). Aplica-se a parcelas, unidades amostrais e subunidades;
gi	– área basal individual (m^2);
ha	– hectares;
IP	– indicadores de produção;
Mg	– megagrama;
NI	– número de indivíduos;
PELD	– Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração;
R^2	– coeficiente de determinação;
RS	– Rio Grande do Sul;
SQR	– soma dos quadrados dos resíduos;
ua	– unidade amostral;
V	– volume comercial com casca (m^3). Aplica-se a parcelas, unidades amostrais e subunidades;
Vi	– volume individual (m^3);
ZA	– zona de alta produção;
ZB	– zona de baixa produção;
ZM	– zona de média produção;
ZP	– zonas de produção.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
ARTIGO 1 – DETERMINAÇÃO DAS ZONAS DE PRODUÇÃO DE UMA POPULAÇÃO DE <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA E GEOPROCESSAMENTO	23
Resumo	23
Abstract	24
1 Introdução	25
2 Material e Métodos	27
2.1 Caracterização da área de estudo	27
2.2 Coleta de dados e obtenção das variáveis	28
2.3 Processamento e análise do dados	29
3 Resultados	31
4 Discussões	35
5 Conclusões	40
Agradecimentos	40
6 Referências Bibliográficas	41
ARTIGO 2 – SENSIBILIDADE DA GEOESTATÍSTICA A DIFERENTES INTENSIDADES DE MANEJO FLORESTAL EXPERIMENTAL EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO RIO GRANDE DO SUL	48
Resumo	48
Abstract	49
1 Introdução	50
2 Material e Métodos	52
2.1 Área de estudo	52
2.2 Obtenção dos dados	53
2.3 Procedimento analítico	55
3 Resultados	56
4 Discussões	59

5 Conclusões	63
6 Referências Bibliográficas	64
DISCUSSÃO	68
CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

INTRODUÇÃO

As florestas são fenômenos naturais que evoluem no espaço e no tempo (SOARES, 2006; AMARAL et al., 2013a), devido a variáveis que apresentam um aspecto aleatório, cuja irregularidade dificulta prever variações de um ponto a outro, e a aspectos estruturais, no espaço e/ou no tempo, que refletem os componentes de um evento espacial. Essa na realidade, é a descrição das variáveis regionalizadas Matheron (1970 apud SOARES, 2006), estudadas pela geoestatística.

A geoestatística, faz parte da estatística aplicada, e trata do estudo das variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial, as quais possuem um componente estrutural, mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e aquelas totalmente determinísticas (VIEIRA, 1998; ANDRIOTTI, 2003; LANDIM, 2003; SOARES, 2006; YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Isso significa dizer que, a diferença de valores para uma dada variável, tomados em dois pontos mais próximos no espaço, deve ser menor que aquela referente a diferença entre dois pontos mais distantes (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), caracterizando uma continuidade espacial.

O semivariograma é a ferramenta fundamental da geoestatística, que detecta a dependência espacial e temporal nas variáveis em análise. Existem três semivariogramas, o real, sendo aquele que ocorre no mundo real, mas de determinação inviável, o teórico, sendo aquele representado por funções teóricas, que descrevem um dado comportamento espaço-temporal, que deve ser ajustado ao semivariograma experimental ou das amostras, calculado a partir da metade da diferença média quadrática entre pares de dados que pertencem a uma certa classe de distância (*lag*), que compõe a distância máxima de análise, dado por (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 1998; ANDRIOTTI, 2003; LANDIM, 2003; SOARES, 2006; YAMAMOTO e LANDIM, 2013):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_{(h)}} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2$$

Onde: $\gamma(h)$ = é a semivariância estimada; $N_{(h)}$ = é o número de pares de valores medidos $[Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2$ separados por um vetor h .

Os elementos que compõe o semivariograma são efeito pepita (C_0), que corresponde ao erro amostral e as microestruturas não captadas pela escala de amostragem; alcance (a), distância em que as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (zona de influência da amostra), onde a partir do alcance os dados não são correlacionados; patamar (C_0+C), valor determinado a partir do alcance, onde não há acréscimo de variabilidade com o aumento da distância, caracterizando as regiões de comportamento aleatório da amostra, sendo o valor de patamar próximo ao da variância da amostra dada pela estatística clássica; e contribuição (C), variância espacialmente estruturada, dada pelo incremento de variabilidade, obtida no pareamento de dados (diferenças), mediante o aumento da distância (Figura 1). Quando patamar e efeito pepita encontram-se em níveis similares, tem-se o efeito pepita puro, ou comportamento totalmente aleatório. Os modelos teóricos mais utilizados são o esférico ($\gamma(h) = C_0 + C[1,5(h/a) - 0,5(h/a)^3]$), exponencial ($\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h/a)^3]$), e gaussiano ($\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-h/a)^2]$), ilustrados na figura 1.b. O grau de dependência espacial é dado pela relação C/C_0+C , sendo fraca ($<0,25$), moderada ($0,25$ a $0,75$) e forte ($\geq 0,75$) (VIEIRA, 1998; CAMARGO, 2001; ANDRIOTTI, 2003; LANDIM, 2003; SOARES, 2006; YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

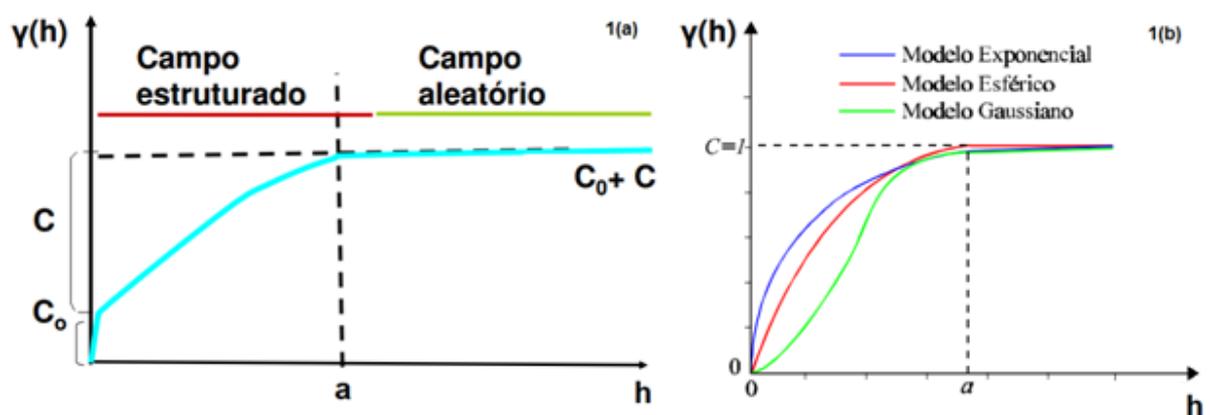


Figura 1. Semivariograma conceitual (1.a) e modelos teóricos mais utilizados (1.b) (adaptado de CAMARGO, 2001).

A geoestatística apresenta dois procedimentos inferenciais, a krigagem e a simulação, que podem ser utilizados após o ajuste do semivariograma. A krigagem tem por objetivo obter a melhor estimativa local sem preocupar-se em reproduzir as estatísticas espaciais estimadas originalmente a partir do conjunto amostral. Já a simulação, por sua vez, tem como objetivo a reprodução dessas estatísticas (histograma e estrutura de covariância), e também tem a vantagem de integrar, de forma mais simples, vários atributos em um único modelo, gerando representações mais próximas do comportamento dos dados originalmente amostrados (ORTIZ et al., 2004; BETTINI, 2007).

Publicações recentes tem mostrado essa característica nas florestas brasileiras, em diversas formações florestais no estado de São Paulo (ODA-SOUZA et al., 2010), como na Floresta Ombrófila Mista (AMARAL, 2010; AMARAL et al., 2010; AMARAL et al., 2013b; AMARAL et al., 2013c; LISBOA et al., 2013), Floresta Estacional Semidecidual (SILVA et al., 2013; MELLO e SCOLFORO, 2000), Floresta Estacional Decidual (AMARAL et al., 2011), no Cerrado (NUNES et al., 2011; CEZARE e FERREIRA, 2011; ALVARENGA et al., 2012), na Floresta Ombrófila Densa Submontana Amazônica (SANTOS et al., 2011), entre outras. Também foi observada na regeneração da vegetação nativa (NEVES et al., 2010), em estudo de distribuição e características de espécies arbóreas em fragmentos florestais (USHIZIMA et al., 2003; KLEIN et al., 2007; AMARAL et al., 2013c), e nas plantações florestais de *Eucalyptus sp*, entre outras espécies (MELLO et al., 2005; RUFINO et al., 2006; KANEGE JÚNIOR et al., 2006, 2007; MELLO et al., 2009; PELISSARI, 2012). Sales et al. (2007) estimaram volume e biomassa total na vegetação para todo o estado de Rondônia, a partir das unidades amostrais do RADAMBRASIL, utilizando modelagem geoestatística e krigagem com deriva externa. Os autores ainda utilizaram a biomassa como preditora de variáveis como elevação, tipo de vegetação e textura do solo. Assim, análises variográficas são necessárias antes do processamento do inventário florestal, pois havendo dependência espacial entre as amostras, esta deve ser considerada nas análises a fim de se obter estimativas mais precisas e confiáveis (GOMES et al., 2007; ASSIS et al., 2009), considerando as diferentes regiões que possam ocorrer ao longo do fragmento florestal.

A Floresta Ombrófila Mista – FOM ou Floresta com Araucária, é uma das mais típicas e importantes formações florestais dos Planaltos no Sul do Brasil, ocorrendo

no Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina. Ocorre também em outros locais de elevada altitude nos estados de São Paulo e Minas Gerais, bem como em outros países, como na Argentina e Paraguai (RODERJAN et al., 2002; IBGE, 2012). Tem por características a interpenetração de floras de origem austral-andina e tropical afro-brasileira (VELOSO et al., 1991), mas a espécie que mais se destaca é a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, por sua abundância, porte e copas corimbiformes, que conferem a esta formação florestal um aspecto próprio.

No Rio Grande do Sul a FOM está presente nas regiões de altitude no Planalto Meridional e chegou a ocupar 25% do território do estado (CARVALHO, 1994; 2003). Vem sendo intensamente estudada, sob diversas abordagens, tais como análises de incremento, volumetria, fitossociologia, manejo, entre outros (PIROLI e CHAFFE, 2003; MOSCOVICH, 2006; HESS e SCHNEIDER, 2010; LONGHI et al., 2010; LONGHI, 2011; CALLEGARO, 2012), dentre outros inúmeros estudos.

A exploração intensiva de madeiras de grande valor econômico de espécies como *Araucaria angustifolia* (pinheiro brasileiro), *Ocotea porosa* (imbuia), *Luehea divaricata* (açoita-cavalo) e *Cedrela fissilis* (cedro) reduziu suas reservas naturais, o que, aliado a falta de estudos sobre a demografia e dinâmica na comunidade, colocam as populações residuais em grande perigo. Outras espécies não-madeiráveis, comuns a essa formação vegetal, como *Dicksonia sellowiana* (xaxim) e *Maytenus ilicifolia* (espinheira santa), exploradas como produtos secundários, sofreram uma grande redução em suas reservas naturais (NASCIMENTO et al., 2001). A área coberta pela FOM no RS, no início da década de 2000, era de 9.195,65 km² (919.565,00 ha), e representava 18,64% da área coberta por florestas naturais (RIO GRANDE DO SUL, 2002). Contudo, esta formação apresenta hoje graves problemas, como os relatados por Nascimento et al. (2001) e Amaral (2010), decorrentes das atividades antrópicas, como por exemplo exploração de espécies madeireiras com valor econômico elevado, extativismos (pinhão, erva-mate, xaxim, entre outros), expansão da agricultura e pecuária, crescimento das cidades, entre outros fatores, aumentando a importância de se ter um melhor entendimento e compreensão sobre a floresta, para melhor utilizá-la e/ou conservá-la.

A geoestatística pode contribuir de forma significativa aos estudo de florestas, complementando os trabalhos de inventário florestal e levantamentos fitossociológicos (MELLO e SCOLFORO, 2000; KANEGE JUNIOR et al., 2006, 2007; ODA-SOUZA et al., 2010; AMARAL, 2010; AMARAL et al., 2013b; AMARAL et

al., 2013c), voltados para a caracterização e manejo das florestas. Tradicionalmente, estas formas de obtenção de dados são baseadas em preceitos da estatística clássica, que consideram as variáveis aleatórias, isto é, independentes, não levando em conta a dependência espacial de uma determinada variável (GUEDES et al., 2012; AMARAL et al., 2013b).

No entanto, segundo Goslee (2006), vários estudos ecológicos relatam que a maioria das comunidades, se não todas as comunidades, são espacialmente estruturadas. Estima-se que mais de 80% das publicações na literatura ecológica não consideram as estruturas de dependência espacial (DORMANN, 2007). Numa floresta, o conjunto de fatores que contribuem para a variação no espaço, da produtividade ou vitalidade de uma espécie por exemplo, é de extrema complexidade, de tal modo que a incerteza resultante torna difícil a sua integração num modelo físico. Essa incerteza resulta do maior ou menor grau de aleatoriedade do comportamento espacial, mas também, e principalmente, da nossa ignorância em relação as florestas (SOARES, 2006).

Em estudos de vegetação, a geoestatística é utilizada na detecção e descrição da estrutura de dependência espacial, na otimização amostral (escala de estudo, tamanho e forma das unidades amostrais), interpolação e construção de mapas, na estimativa e inferência de variáveis relacionadas ao meio (AUBRY e DEBOUZIE, 2000; 2001; SANTOS et al., 2011), e mais precisamente no manejo florestal, tem-se relatada a modelagem da distribuição espacial do diâmetro das árvores, a estimativa do incremento em diâmetro, estoque de madeira para exploração, entre outros (BIONDI et al., 1994; NANOS e MONTERO, 2002). Na floresta, a geoestatística considera que valores obtidos nas parcelas ou unidades amostrais estão associados à sua localização no espaço e, portanto, através do uso de interpoladores é possível realizar a estimativa das variáveis obtidas pela amostragem em locais não amostrados (MELLO et al., 2005; KANEGE JUNIOR et al., 2007; AMARAL, 2010), desde que as mesmas apresentem dependência espacial, sendo uma grande vantagem deste método de análise. Porém, deve-se tomar cuidado quanto a natureza do interpolador utilizado, face aos objetivos a serem cumpridos com a interpolação, onde se deve optar em obter descrição de tendências de comportamento (variabilidade espacial da variável) ou estimativas precisas da variável para pontos não amostrados (SOARES, 2006; YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Desta forma, análises estatísticas clássicas que consideram a independência entre as amostras, baseadas na média, vêm sendo substituídas por análises geoestatísticas fundamentadas na teoria das variáveis regionalizadas (ISAKS e SRIVASTAVA, 1989), por intermédio do semivariograma e da dependência espacial (SOUSA et al., 2004). Amaral et al. (2011), mostraram a diferença da informação obtida sobre diferentes alturas das árvores da floresta, comparando mapas de interpolação por krigagem, obtidos de modelagens geoestatísticas, em relação à mapas de médias, obtidas em unidades amostrais, extrapoladas para o hectare e depois para o fragmento florestal (área total). Segundo os autores, os mapas de interpolação mostraram uma variabilidade que não seria perceptível, e logo, não considerada, quando se utiliza informações obtidas por extrapolação de médias. Porém, existem também pesquisas que, ainda, não recomendam o uso da geoestatística para o estudo e caracterização de florestas nativas, principalmente quando manejadas (GUNNARSON et al., 1998; TUOMINEN et al., 2003; AKHAVAN et al., 2010), recomendando sua aplicação apenas à florestas plantadas ou à unidades de conservação.

Do ponto de vista geoestatístico, as florestas apresentam duas características comuns que, aparentemente sem ligação, são a razão da aplicação de modelos probabilistas e, em particular, dos modelos das funções aleatórias: em primeiro lugar, são entidades que se distribuem no espaço de um modo não aleatório, isto é, com uma certa estrutura; em segundo lugar, a informação disponível (amostras, observações) sobre aqueles fenômenos espaciais é, na sua maioria, parcelar, discreta e normalmente escassa, o que faz com que ao seu conhecimento global esteja sempre associada uma certa ideia de incerteza (SOARES, 2006).

Segundo Amaral et al. (2012), a dependência espacial em variáveis florestais é natural, pois reflete a ocupação dos espaços pelas árvores, que é condicionada pelos diferentes níveis de competição, arquitetura e forma das espécies, entre outros fatores. Em florestas heterogêneas, a competição pode ser descrita por modelos dependentes da distância, pois a influência em árvores vizinhas, sob o crescimento da árvore-objeto, decresce com o aumento da distância (ZHAO et al., 2004).

A ocorrência de clareiras e sua ocupação também geram dependência espacial. Segundo Whitmore (1990), a queda de árvores causa descontinuidades no estrato dominante da floresta, que podem alterar a estrutura de dependência espacial de variáveis florestais. O tamanho da abertura no dossel florestal influencia

a composição florística e a distribuição espacial das espécies (JARDIM et al., 2007). O regime de distúrbio, ocasionado por eventos naturais, e as ações antrópicas, relacionadas aos usos inadequados das florestas, podem causar queda de parte das árvores ou então a morte das mesmas, abrindo espaços (WADSWORTH e ZWEEDE, 2006), ou seja, descontinuidade espacial. Por outro lado, clareiras pequenas são benéficas, pois não geram condições para a ocupação por espécies pioneiras ou espécies heliófitas indesejáveis, como por exemplo taquaras, sendo ocupadas por espécies de clímax, promovida pelo crescimento lateral de seus galhos (JARDIM et al., 2007). Todas estas relações descrevem em parte, a essência e origem da dependência espacial nas florestas, havendo também as questões relacionadas as restrições ambientais na ocorrência das espécies, condicionada por tipo de solo, condições climáticas, relevo, formação geológica, entre outros fatores globais e de grande magnitude.

Nas florestas, como também na agricultura, o solo é o compartimento que tem sido mais estudado pela geoestatística, existindo diversas pesquisas sobre variabilidade espacial de seus atributos (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 2000; ZIMBACK, 2001; SOUSA et al., 2004; WOJCIECHOWSKI et al., 2009; LIMA et al., 2010; PEDRO et al., 2011; SKORUPA et al., 2012). Já o comportamento espacial das variáveis florestais tem sido pouco aproveitada, havendo poucos artigos publicados sobre as formações florestais brasileiras, para não dizer, na prática, a inexistência de uso da geoestatística nos inventários florestais e levantamentos fitossociológicos. Por outro lado, esta metodologia vem sendo mais empregada em estudos de florestas plantadas (MELLO et al., 2006; KANEGE JUNIOR et al., 2006, 2007; ASSIS et al., 2009; GUEDES et al., 2012).

Existem ainda muitas dúvidas e questionamentos sobre a real contribuição da geoestatística ao estudo de florestas, muitas delas baseadas em algumas experiências que não obtiveram o resultado esperado, onde foram analisadas florestas com fortes distúrbios, o que vem nutrindo estes questionamentos, juntamente com a falta de conhecimento. Desta forma, o interesse em esclarecer estas questões, é o principal motivador deste trabalho e também o justificam.

A hipótese central que rege este trabalho é que as florestas apresentam-se espacialmente estruturadas, e suas variáveis podem ser consideradas variáveis regionalizadas. Deste modo, a geoestatística tem a capacidade de descrever o comportamento da floresta, utilizando dados amostrais localizados espacialmente

em sua área de ocorrência. Esse potencial pode ser utilizado para diversas finalidades (caracterização, manejo, conservação, exploração florestal, restauração, entre outras), buscando aumentar a compreensão sobre as florestas, principalmente as nativas, para que se possa dar a melhor utilização para este importante recurso natural.

O objetivo geral deste trabalho foi mostrar o potencial da geoestatística, associada à inventários florestais, aplicados à caracterização e manejo de florestas nativas, mais especificamente Floresta Ombrófila Mista no Rio Grande do Sul. Os objetivos específicos foram dois:

- Determinar as zonas de produção, utilizando geoestatística e ferramentas de geoprocessamento, para uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, no Planalto Médio, em Tapera-RS, obtendo as variáveis descritivas e índices de produção das árvores em cada zona de produção delimitada;

- Mostrar a sensibilidade da geoestatística às mudanças na floresta causadas pelo manejo florestal, através dos semivariogramas e/ou superfícies simuladas, em parcelas de manejo florestal experimental num fragmento de FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata-RS, utilizando mensurações realizadas em diferentes épocas.

ARTIGO 1 – DETERMINAÇÃO DAS ZONAS DE PRODUÇÃO DE UMA POPULAÇÃO DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA E GEOPROCESSAMENTO

ARTICLE 1 – DETERMINATION OF PRODUCTION ZONES OF A POPULATION OF *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze USING GEOSTATISTICS AND GEOPROCESSING

Lúcio de Paula Amaral¹; Paula Leticia Wolff Kettenhuber²; Regiane Aparecida Ferreira³;
Elódio Sebem⁴

¹ Engenheiro Florestal, PPGAP; PPGEF; Prof. Me – Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento e Curso Técnico em Geoprocessamento, Colégio Politécnico, UFSM. Av. Rorâima, 1000, Prédio 70, Bloco F – Sala 212 C, Santa Maria-RS, CEP 97.000-000. Autor para contato: lpamaralengflorestal@gmail.com;

² Graduanda em Engenharia Florestal, CCR, UFSM. Av. Rorâima, 1000, Prédio 42, 1 Piso – Sala 3131, Santa Maria-RS, CEP 97.105-900. E-mail: paulaleticia_wolff@hotmail.com;

³ Engenheira Florestal, PPGAP – Mestrado Profissionalizante em Agricultura de Precisão; Colégio Politécnico, UFSM. Av. Rorâima, n 1000, Prédio 70, Bloco F – Sala 212 C, Santa Maria-RS, CEP 97.000-000. E-mail: rezinhafajar@gmail.com;

⁴ Engenheiro Florestal, PPGAP, Prof. Orientador; Prof. Dr. Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento e Curso Técnico em Geoprocessamento, Colégio Politécnico, UFSM. Av. Rorâima, n 1000, Prédio 70, Bloco F – Sala 212 C, Santa Maria-RS, CEP 97.000-000. E-mail: elodiosebem@politecnico.ufsm.br.

Resumo

Florestas são fenômenos estruturados no tempo e no espaço e podem ser analisadas pela geoestatística. O objetivo deste trabalho foi utilizar essa característica para determinar as zonas de produção (ZP), a partir de superfícies interpoladas por krigagem e/ou cokrigagem, combinadas por álgebra de mapas. Foi analisada uma população de *Araucaria angustifolia* em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista (FOM) de 11,34 ha, em Tapera-RS, Brasil, utilizando um censo georreferenciado. Com os dados da população foi gerada uma amostra virtual em grade com 104 unidades amostrais (ua) de 30x30 m, das quais foram utilizadas 52 ua, onde foram obtidos o número de indivíduos (NI), maior diâmetro (>DAP), altura da árvore com maior DAP (>H), área basal (G), volume (V), biomassa (B) e carbono (C), individuais e por ua. O NI foi a variável que apresentou o melhor ajuste semivariográfico (forte dependência espacial – 99,00%), sendo utilizado na cokrigagem dos indicadores de produção {G (m² ha⁻¹); V (m³ ha⁻¹); B e C (Mg ha⁻¹)}, por apresentarem alta correlação linear (>0,90) com o

mesmo. Através de álgebra de mapas obteve-se uma matriz, que foi reclassificada para obter as ZP, contendo três classes: 0 a 25% - zona de baixa, correspondendo a 55,03% do fragmento; 25 a 55% - zona de média, 35,54% da área; e 55 a 100% - zona de alta, 9,43% do fragmento florestal em análise. Observou-se que o fragmento encontra-se sob distúrbio e que a população apresentou distribuição diamétrica balanceada. Foi possível determinar as ZP com a metodologia proposta e os objetivos foram alcançados, uma vez que a população em análise comportou-se como variável regionalizada. It was possible to determine the ZP with the proposed methodology and objectives were achieved, since the population in analysis behaved with regionalized variable.

Palavras-Chave: Floresta de Precisão; Manejo Florestal de Precisão, Agricultura de Precisão; Zonas de Produção; Krigagem.

Abstract

Forests are structured phenomena in space and time and can be analyzed by geostatistics. The objective of this study was to use this characteristic to determine production zones (PZ) from surfaces interpolated by kriging and/or cokrigagem, combined by map algebra. A population of *Araucaria angustifolia* was analyzed in a Mixed Ombrophilous Forest fragment (11.34 ha) in Tapera, Rio Grande do Sul, Brazil, using a georeferenced census. With the data of the population, a virtual grid sample was generated with 104 sampling units (su) of 30 x 30 m, of which 52 su was used, where the number of individuals (NI), basal area (G), larger diameter (>DBH), height of the tree with the highest DBH (>H), volume (V), biomass (B) and carbon (C) individuals and for su was obtained. The NI was the variable that presented the best fit spherical model (strong spatial dependence – 99.00%), being used in cokrigagem of production indicators {G (m² ha⁻¹); V (m³ ha⁻¹); B and C (Mg ha⁻¹)}, by submitting high linear correlation (>0.90%). Through the map algebra, a matriz that was reclassified to obtain the PZ was obtained, containing three classes: 0-25% - low zone (corresponding to 55.03% of fragment); 25-55% - medium zone (35.34% of area) and 55-100% - high zone (with 9.53% of the forest area analyzed). We observed that the fragment was under disturbance and that the population presented balanced diameter distribution.

Keywords: Precision Forest, Precision Forest Management, Precision Agriculture; Production Zones; Kriging.

1 Introdução

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (pinheiro-brasileiro, pinheiro-do-paraná) é a principal espécie da Floresta Ombrófila Mista (FOM), destacando-se por ocupar o dossel superior, que caracteriza esta formação florestal. Possui madeira de alta qualidade e valor comercial, foi fortemente explorada no passado, e é a principal espécie arbórea nativa brasileira explorada comercialmente no sul do Brasil. Nos dias atuais encontra-se na lista de espécies ameaçadas de extinção (GUERRA et al., 2002; BRASIL, 2008), situação de extrema gravidade, já que está proibido o manejo técnico desta espécie pela legislação atual (NUTTO, 2001). Esta proibição pode condenar a Araucária à sua real extinção, pois a sua proteção legal desmotiva os produtores rurais e florestais a cederem áreas para a manutenção da espécie (DANNER et al., 2012), o que poderia ser evitado com o manejo florestal (McEVORY, 2004; PORTER-BOLLAND et al., 2011).

O manejo e a silvicultura de precisão, aplicado às florestas naturais, consideram as características biofísicas inerentes a essas florestas que, em geral, apresentam elevada biodiversidade e níveis de variabilidade espaço-temporal para seus fatores de produção, interrelacionamentos, complexidade dos sítios e de fatores ambientais, entre outros (GREIG-SMITH et al., 1967; WEBB et al., 1967; PASSOS e BRAZ, 2004). A definição de sítios homogêneos é o ponto-chave desta abordagem, permitindo a aplicação de tratamentos silviculturais precisos, reduzindo os custos de exploração e os danos ambientais, além de aumentar o incremento médio anual do estoque de madeira comercial (PASSOS e BRAZ, 2004).

O manejo florestal sustentável, como um processo de gerenciamento permanente de áreas florestais, será tanto eficiente quanto mais precisas forem as estimativas geradas com amostragens na floresta (RANGEL et al., 2006). O manejo sustentável de uso múltiplo é visto como uma alternativa contra a extinção de espécies da FOM, pois sua adoção representa a medida mais eficaz contra o avanço de sua fragmentação, desde que haja eficiência de forma equilibrada em todas as suas dimensões (ROSOT, 2007). O manejo florestal deve ser entendido como um elemento decisivo para perpetuar a sobrevivência da *A. angustifolia*, contribuindo para estimular a regeneração natural, aumentar taxas de crescimento das árvores remanescentes e diminuir as taxas de mortalidade natural da floresta (SANQUETTA, 2008). Para o manejo florestal a classificação de unidades de produção/produktividade, ou zonas de produção (ZP), é de grande valia e é

indispensável para tomar decisões e planejar ações de intervenção na floresta (MIGUEL et al., 2011). Figueiredo et al. (2007) denominam as ZP de subcompartimentos da floresta, delimitados em função do volume de madeira das árvores, utilizando análises espaciais com dados georreferenciados (geoestatística). Segundo os autores, esta organização de novos compartimentos facilita a homogeneidade da floresta do ponto de vista produtivo, que é sempre um problema em florestas nativas, possibilitando a maximização da renda do talhão e a minimização dos danos a floresta.

No entanto, são geralmente empregadas duas técnicas de sumarização, análise e classificação de dados florestais, baseadas em análises multivariadas, sendo a ordenação, a mais aplicada à dados homogêneos, e a classificação, a mais aplicada a dados predominantemente heterogêneos, como é o caso das florestas naturais (LAVEN, 1982). Já o potencial madeireiro de uma floresta, segundo Machado et al. (2000), pode ser determinado de três maneiras: através do inventário florestal; pela adoção de tabela/equação de volume; e com o emprego da distribuição diamétrica acoplada a funções de volume e de hipsometria. Porém, nenhuma destas formas de análise considera a estrutura de dependência espacial (DE), comportamento natural nas variáveis florestais (SOARES, 2006; AMARAL et al., 2012; 2013a), a exemplo da análise geoestatística, que trata das variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis contínuas e que apresentam algum grau de dependência espacial (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

A DE ou auto correlação, podem ser definidas resumidamente, como sendo a propriedade de variáveis que são correlacionadas espacialmente até uma certa distância (LEGENDRE, 1993). Isso é o que ocorre, por exemplo, com as árvores de uma floresta (SOARES, 2006), que possuem DE para suas variáveis de forma natural, pois as mesmas refletem a ocupação dos espaços pelas espécies, que é condicionada pelo crescimento e desenvolvimento das árvores, pela forma e arquitetura das mesmas, pela qualidade do sítio, entre outros fatores, impondo aos organismos diferentes níveis de competição na disputa pelos recursos e espaços da floresta (AMARAL et al., 2012). Assim, os organismos, incluindo as árvores, não são distribuídos aleatoriamente no espaço, mesmo quando aparentemente tendem a uma distribuição aleatória, indicando que os valores não são estocasticamente independentes entre si (LEGENDRE, 1993), como são rotineiramente tratados nos trabalhos de inventário florestal e levantamentos fitossociológicos. Contudo, ainda

são poucas as espécies nativas brasileiras estudadas sob esta metodologia, necessitando-se de mais pesquisas que possibilitem um melhor entendimento sobre os padrões de relações espaciais das espécies florestais ao longo dos fragmentos onde ocorrem, compondo regiões diferenciadas dentro dos mesmos (zonas de produção ou de manejo).

A hipótese que rege este trabalho considera que as florestas nativas podem apresentar estrutura ou dependência espacial em suas variáveis (SOARES, 2006; AMARAL et al., 2013a,b e c), permitindo o emprego da metodologia proposta neste trabalho.

O objetivo do trabalho foi utilizar a abordagem geoestística na delimitação de zonas de produção (ZP) para uma população de *Araucaria angustifolia*, em um fragmento de FOM no Planalto Meridional do Rio Grande do Sul. Especificamente, esperou-se observar dependência espacial em variáveis como número de indivíduos, diâmetro à altura do peito - DAP, altura, área basal, volume, biomassa e carbono, para realizar estimativas destas variáveis em pontos não amostrados, utilizando análise geoestatística, com interpolações por krigagem ordinária pontual e cokrigagem.

2 Material e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo (11,34 ha) é parte de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2012), hoje parque municipal, Parque das Araucarias Janaína Orth, localizado no município de Tapera, noroeste do Rio Grande do Sul, localizado ao lado da rodovia estadual RS-233, km 28, com coordenada central 28° 38' 31,33" de Latitude Sul e 52° 51' 32,21" de Longitude Oeste (Figura 1), com altitude variando de 450 a 470 m. Apesar de ser um parque municipal e não exatamente uma "unidade de produção florestal" com fins comerciais, esta área foi utilizada por apresentar dados organizados e georreferenciados de forma a permitir o emprego da metodologia proposta.

O clima da região é do tipo *Cfa*, subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen (EMBRAPA, 2011). A unidade geomorfológica da região é o Planalto Norte-Riograndense, constituindo a extremidade sul do Planalto Meridional do Brasil (CEPSRM/UFRGS, 2001), contendo espessas camadas de basalto sobre o arenito, ocorrendo solos da classe dos Latossolos, mais precisamente Latossolo Vermelho aluminoférrico - LVaf (STRECK et al., 2008).



Figura 1. Localização do fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Tapera, no noroeste do Rio Grande do Sul.

Figure 1. Location of the fragment of Mixed Ombrophilous Forest in Tapera, northwest of Rio Grande do Sul.

2.2 Coleta de dados e obtenção das variáveis

Neste fragmento foi realizado um censo florestal no ano de 2012, para a população de *Arucaria angustifolia*, onde foram mensuradas com fita métrica, indivíduos com circunferência à altura do peito – CAP (cm) > 15,7 cm, que foram transformadas em diâmetro à altura do peito - DAP (cm), e a altura (m), determinada com Vertex III, obtendo-se também o número de indivíduos. As árvores foram georreferenciadas com GPS de navegação Garmin 66 CSX, e obteve-se também o perímetro da área com o mesmo equipamento. Foi possível calcular para cada árvore a área basal (m²) - g_i , e estimar o volume de madeira com casca – v (m³), utilizando a equação desenvolvida para a espécie no Rio Grande do Sul (BRASIL, 1983), utilizando o modelo teórico de Schumacher-Hall, com coeficiente de determinação de 0,9847 e erro padrão de estimativa de 0,0730:

$$g_i = ((\pi d_i^2) / 40000)$$

$$\log v = b_0 + b_1 \log d_i + b_2 \log h$$

onde: d_i = diâmetro à altura do peito (cm); h = altura (m); v = volume (m³); $b_0 = -4,29736$; $b_1 = 2,18419$ e $b_2 = 0,68504$.

A biomassa total dos indivíduos foi calculada pela equação para florestas de zonas climáticas úmidas, dada por (CHAVES et al., 2005): $B = 0,0509 * Dbm * DAP^2 * H$. A densidade básica da madeira (Dbm) utilizada foi de 0,425 g cm⁻³ (MATTOS et al., 2006), por ser um valor médio para a espécie dentre os encontrados na literatura e por ser uma informação recente. Não foram encontradas equações de biomassa específicas para a espécie ajustas em locais próximos a área de estudo, uma vez que foram encontradas

apenas algumas equações ajustas em plantações de araucária no município de General Carneiro, PR (SANQUETTA et al., 2003; BALBINOT et al., 2009), motivo pelo qual adotou-se a equação descrita acima, que em testes prévios apresentou valores similares aos das equações desenvolvidas em plantios da espécie. Para a obtenção do valor do carbono estocado (C) foi utilizado o teor médio de carbono para a araucária, 41,87 % (WATZLAWICK et al., 2011), devido aos mesmos motivos da escolha da *Dbm*.

2.3 Processamento e análise dos dados

As coordenadas obtidas foram descarregadas do GPS para o computador pelo *software* GPS TrackMaker® versão profissional 4.8, salvas em dois arquivos, um para o perímetro do fragmento e outro para a localização das árvores, ambos no formato shapefile. Os demais dados obtidos no campo foram digitados em planilhas eletrônicas. Com os mesmos foi possível realizar uma amostragem virtual em grade regular, com a finalidade de obter dados (seleção de árvores e suas variáveis), para a aplicação da metodologia geoestatística proposta. O arquivo do perímetro foi importado para o Sistema Campeiro® versão 7.10, onde no módulo de Agricultura de Precisão, foi gerada uma grade amostral regular de 30x30 m, compondo a amostra. A grade foi readequada manualmente no programa GPS TrackMaker, para manter apenas as unidades amostrais (ua) inteiras, obtendo-se 104 ua.

Foram utilizadas sistematicamente 52 ua (50% do total) para os ajustes geoestatísticos, contendo as variáveis de interesse relacionadas à coordenada central de cada ua para interpolação. Os dados foram importados para o programa GS+ versão 7.0, (Copyright© 1989-2004), onde procedeu-se o ajuste dos semivariogramas (simples e cruzado), interpolação (krigagem e/ou cokrigagem) e a validação cruzada.

O semivariograma simples, que gera parâmetros para a ponderação utilizada pela krigagem, é dado por (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_{(h)}} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2$$

Onde: $\gamma(h)$ = é a semivariância estimada; $N_{(h)}$ = é o número de pares de valores medidos $[Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2$ separados por um vetor h .

O semivariograma cruzado, que gera parâmetros para a ponderação utilizada pela cokrigagem, é dado por (VIEIRA, 2000):

$$\gamma_{1,2}(h) = \frac{1}{2N_{(h)}} \sum_{i=1}^{n(h)} \{ [Z_{1(x_i)} - Z_{1(x_i+h)}] [Z_{2(x_i)} - Z_{2(x_i+h)}] \}$$

Onde: $[Z_{1(x_i)} - Z_{1(x_i+h)}]$ = referente a variável primária; $[Z_{2(x_i)} - Z_{2(x_i+h)}]$ = referente a variável secundária.

As equações da interpolação por krigagem e cokrigagem, respectivamente, são definidas por (VIEIRA, 2000):

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i); \quad \hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_i Z_1(x_i) + \sum_{i=1}^{n_2} \lambda_i Z_2(x_i)$$

Onde: $\hat{Z}(x_0)$ = é o valor estimado em um local não amostrado; $Z(x_i)$ = é o valor de uma dada variável obtido por amostragem na floresta; λ_i = é o peso associado ao valor obtido na posição x_i ; n = número de vizinhos; 1 e 2 referem-se as variáveis primárias e secundárias, respectivamente.

Posteriormente, as superfícies interpoladas foram exportadas em extensão .grd para o Arc GIS 10, onde procederam-se a extração das informações de interesse, utilizando uma máscara para corte, reclassificação de dados para ajuste de classes e atribuição de scores (0 a 10) e correção de valores negativos obtidos na interpolação para cada uma das variáveis de interesse. Foi então empregada álgebra de mapas para interação dos dados, com uso da adição dos scores obtidos pelas classes em cada variável. Por fim, obteve-se um arquivo matricial (*raster*) com a pontuação variando de 0 a 40 scores, que foi reclassificado para gerar as zonas de produção de aurocária. As zonas foram descritas como baixa (até 12,50 scores - 0 a 25% da amplitude), média (de 12,50 a 22 scores - 25 a 55% da amplitude) e alta (acima de 22 scores - de 55 a 100% da amplitude).

Previamente ao procedimento, foi utilizada a estatística descritiva, realizada em planilha eletrônica, para auxiliar no entendimento das variáveis analisadas (AMARAL, 2010). Foi também realizada análise de correlação simples entre variáveis, para verificar qual das variáveis obtidas nas árvores da população (número de indivíduos, >DAP e altura da árvore de >DAP) apresentaram as maiores correlações com as variáveis calculadas após o levantamento de campo, para seleção de variáveis secundárias utilizadas na cokrigagem. A variável secundária de maior correlação foi utilizada para interpolar área basal, volume, biomassa e carbono por hectare, variáveis primárias. Com a vetorização de cada ZP, foi possível selecionar as árvores contidas nas mesmas,

empregando-se estatística descritiva, distribuição diamétrica e hipsométrica para caracterizar e comparar cada ZP.

3 Resultados

No censo, foram mensurados 178 indivíduos de *A. angustifolia* no fragmento de FOM avaliado, tendo em média aproximadamente 16 indivíduos por hectare. A estatística descritiva para as variáveis obtidas na amostra virtual estão relacionadas na Tabela 1, onde foi observado que a maioria das variáveis apresentaram alto coeficiente de variação (cv%), desvio padrão (S) e variância (S^2), bem como coeficientes de curtose positivos (curtose leptocúrtica), o que indica grande variabilidade ao longo do fragmento, possivelmente pela falta de manejo, implicando também em dificuldades de ajustes nos semivariogramas.

Tabela 1. Estatística descritiva para a amostra virtual em grade da população de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera-RS.

Table 1. Descriptive statistics for the virtual grid sample of population of *A. angustifolia* in fragment FOM in Tapera, RS.

Variável	Média	Mediana	Moda	VMx	VMn	S^2	S	A	Ct	CV
NI	1,54	1	0	9	0	1,81	3,27	2,01	5,28	117,59
>DAP (cm)	65,02	90,87	0	129,55	0	2228,20	47,20	-0,57	-1,48	72,59
H (m)	19,14	26	0	37,8	0	192,60	13,88	-0,57	-1,47	72,50
G ($m^2 ha^{-1}$)	10,0837	7,4362	0	43,40	0	112,89	10,62	1,13	0,90	14,61
V ($m^3 ha^{-1}$)	148,55	109,71	0	623,09	0	25170,99	158,65	1,09	0,54	106,80
B ($Mg ha^{-1}$)	80,06	56,79	0	338,8	0	7470	86,43	1,14	0,67	107,95
C ($Mg ha^{-1}$)	33,52	23,78	0	141,9	0	1310	36,19	1,14	0,67	107,95

Legenda – NI: número de indivíduos; >DAP: maior diâmetro à altura do peito; H: altura das árvores de >DAP; G: área basal; V: volume; B: biomassa acima do solo; C: carbono estocado; VMx: valor máximo; VMn: valor mínimo; S^2 : variância dos dados; S: desvio padrão; A: assimetria; Ct: curtose; CV: coeficiente de variação (%).

Legend – NI: number of individuals; >DAP: larger diameter at breast height; H: height of the trees >DBH; G: basal area; V: volume; B: aboveground biomass; C: carbon stored; VMx: maximum value; VMn: minimum value; S^2 : the variance of the date; S: standard deviation; A: asymmetry; Ct: kurtosis; CV: coefficient of variation (%).

A Tabela 2 apresenta os parâmetros semivariográficos para as sete variáveis analisadas na população de *A. angustifolia*. O número de indivíduos por ua (NI) apresentou o melhor ajuste de semivariograma simples para krigagem ordinária pontual com uso do modelo esférico, atestado também pela validação cruzada (Figura 2), provavelmente pelo fato destes dados apresentarem a menor S^2 .

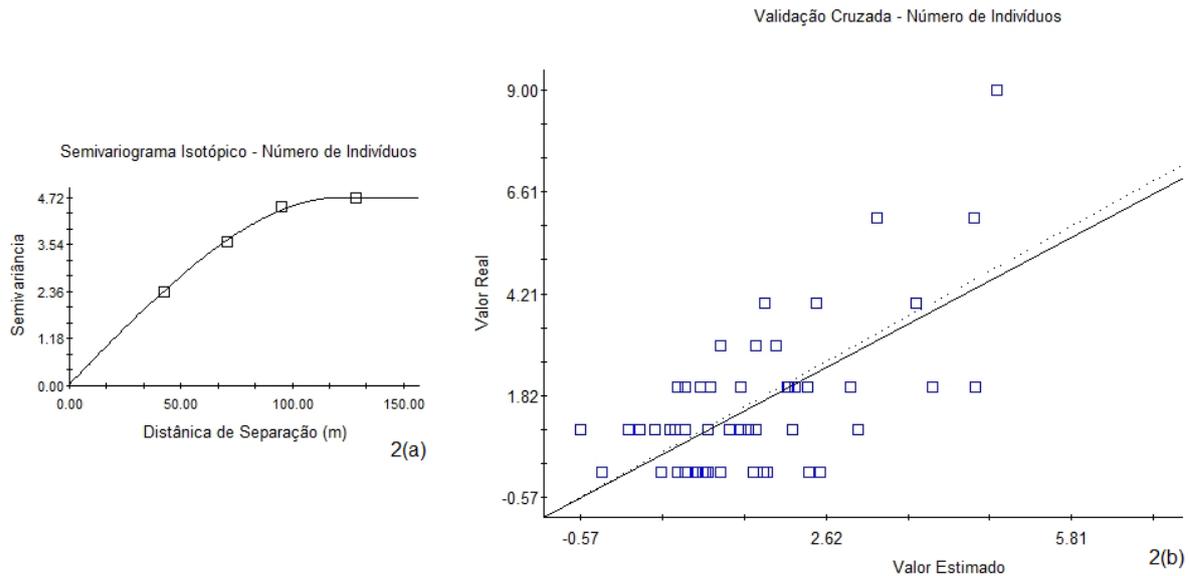


Figura 2. Ajuste geoestatístico para o número de indivíduos de araucária: semivariograma isotrópico (a) e validação cruzada (b).

Figure 2. Geostatistic adjust for the araucaria individuals number: isotropic semivariogram (a) and cross validation (b).

Tabela 2. Parâmetros semivariográficos das variáveis da população de *A. angustifolia* analisada no fragmento florestal em Tapera-RS.

Table 2. Semivariographic parameters of variables of population of *A. angustifolia* analyzed in forest fragment in Tapera, RS.

Variável	Modelo	Co	Co+C	C'	A	R ²	SQR	C/(C+Co)	DE
NI	Esférico	0,04	4,72	4,32	122,30	0,99	7,99E-03	0,99	Forte
>DAP	Exponencial	394,00	2240,00	1846,00	99,00	0,83	23381	0,82	Forte
H	Exponencial	42,60	196,90	154,30	118,00	0,86	193	0,78	Forte
G (m ² ha ⁻¹) x NI	Esférico	0,84	25,24	24,40	121,20	0,99	0,0279	0,97	Forte
V (m ³ ha ⁻¹) x NI	Gaussiano	94,60	372,00	277,40	111,20	0,99	6,06	0,75	Forte
B (Mg ha ⁻¹) x NI	Esférico	18,10	200,30	182,20	124,70	0,99	0,773	0,91	Forte
C (Mg ha ⁻¹) x NI	Esférico	7,90	83,91	76,01	125,10	0,99	0,208	0,91	Forte

Legenda – NI: número de indivíduos; > DAP: maior diâmetro à altura do peito; H: altura das árvores de >DAP; G: área basal; V: volume; B: biomassa acima do solo; C: carbono estocado; Co: efeito pepita; (C+Co): patamar; C': contribuição ou variância estruturada; A: alcance (m); R²: coeficiente de determinação; SQR: soma dos quadrados dos resíduos; C/(C+Co): dependência espacial; DE: classe de dependência espacial.

Legend – NI: number of individuals; >DAP: larger diameter at breast height; H: height of the trees >DBH; G: basal area; V: volume; B: aboveground biomass; C: carbon stored; Co: nugget effect; Co+C: sill; C': contribution ou structured variance; A: range (m); R²: coefficient of determination; SQR: Sum of squared residuals; C/(C+Co): spatial dependence; DE: class of spatial dependence.

As demais variáveis, área basal (G), volume (V), biomassa (B) e carbono (C), apresentaram ajustes insatisfatórios para este tipo de semivariograma (baixa DE e alto erro de estimativa), sendo então estimados por cokrigagem (variáveis primárias). Como variável secundária foi utilizado o NI, por ter apresentado o melhor ajuste semivariográfico e por ter maior correlação com variáveis primárias. A correlação linear simples foi de 0,9558; 0,9394; 0,9393 e 0,9393, respectivamente entre NI com G, V, B e C, com alta

significância ($p < 0,01$), resultados superiores aos obtidos para a correlação entre estas variáveis com $>DAP$ e H , que foram da ordem de 0,70. Os parâmetros obtidos com os ajustes dos semivariogramas cruzados para a cokrigagem também foram dispostos na Tabela 2. Os mapas de superfície interpolada encontram-se na Figura 3 (a, b, c, d e e), e descrevem o comportamento espacial de NI, G, V, B e C, bem como o das zonas de produção, alta (ZA), média (ZM) e baixa (ZB) apresentadas na figura 3.f, obtida por álgebra de mapas (Apêndices). Foram obtidas áreas de 1,07; 4,03 e 6,24 ha respectivamente para ZA, ZM e ZB. Foram também obtidos os indicadores de produção (IP), relacionados na Tabela 3, bem como a descrição estatística das variáveis que caracterizam as respectivas ZP.

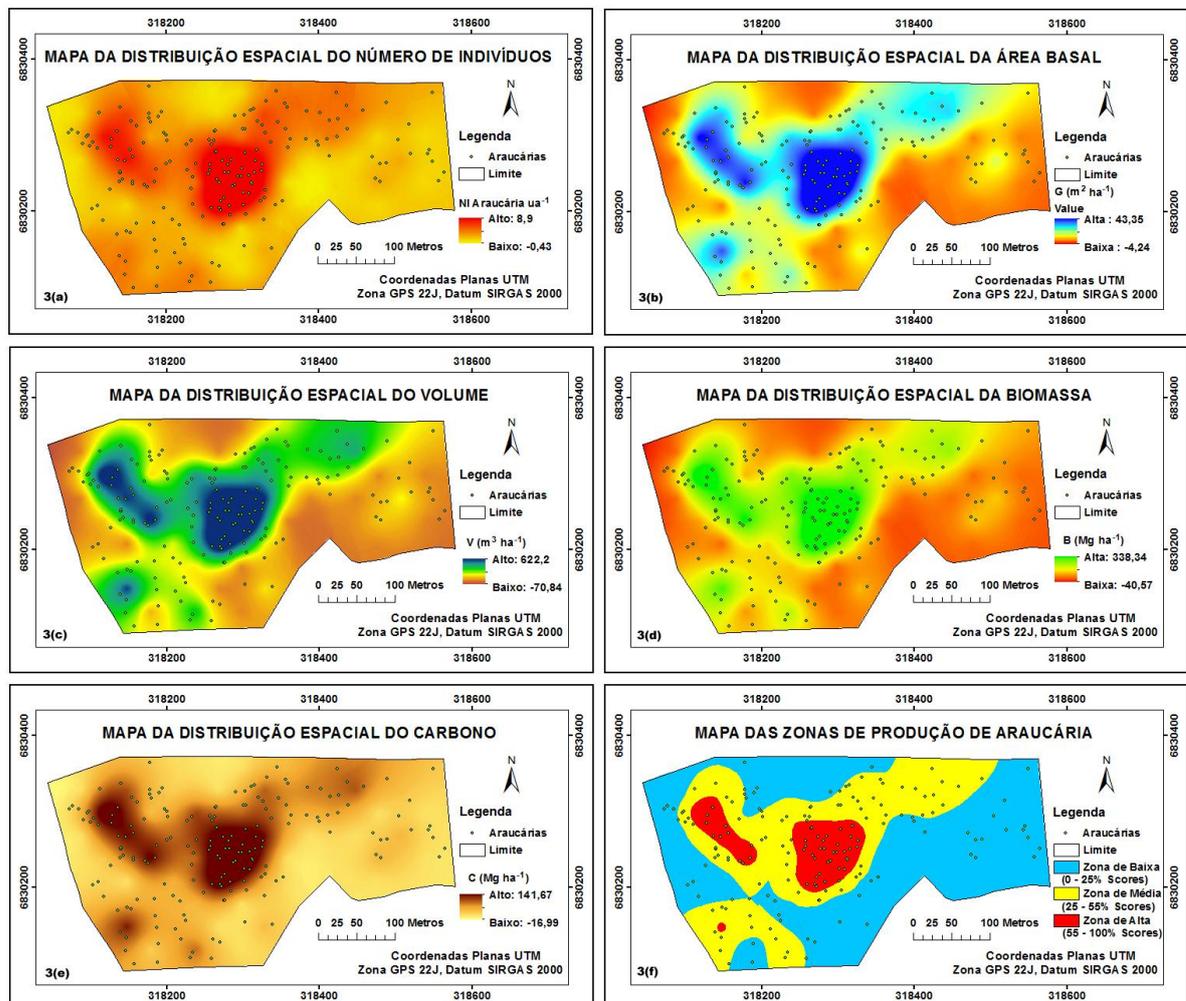


Figura 3. Mapas do número de indivíduos (a), área basal (b), volume (c), biomassa acima do solo (d), carbono estocado (e) e das zonas de produção (f) para a população de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera-RS. (Apêndices).

Figure 3. Maps of the number of individuals (a), basal area (b), volume (c), aboveground biomass (d), carbon stored (e) and production zone (f) for the population of *A. angustifolia* in the FOM fragment in Tapera,RS. (Appendix).

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis da população por zona de produção de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera, RS.
Table 3. Descriptive statistics of the variables of the population by production zone of *A. angustifolia* on the FOM fragment in Tapera,RS.

	Variáveis	Vmin.	Vmáx.	Total	Média	Moda	Mediana	EP	S ²	S	CV%	A	Ct	IP (var/ha)
Zona de Alta (1,07 ha; 46 Árvores)	DAP (cm)	34,38	129,55	n/a	80,99	93,58	86,10	3,04	424,95	20,61	25,45	-0,32	-0,10	n/a
	H (m)	17,00	41,50	n/a	28,41	28,30	28,15	0,68	21,04	4,59	16,15	0,28	0,74	n/a
	g (m ²)	0,092819	1,318193	25,20	0,547811	0,687836	0,582273	0,037720	0,07	0,26	46,70	0,41	0,67	23,55
	v (m ³)	0,7960	23,2514	375,51	8,1633	Amodal	7,9005	0,6718	20,76	4,56	55,82	0,77	1,38	350,94
	b (Mg)	0,43	12,38	204,99	4,46	Amodal	4,17	0,36	6,04	2,46	55,15	0,74	1,08	191,58
	c (Mg)	0,18	5,18	85,83	1,87	Amodal	1,74	0,15	1,06	1,03	55,15	0,74	1,08	80,21
Zona de Média (4,03 ha; 83 Árvores)	DAP (cm)	41,38	124,78	n/a	84,21	91,35	87,22	2,08	358,84	18,94	22,50	-0,28	-0,46	n/a
	H (m)	20,40	37,80	n/a	28,26	30,80	28,90	0,43	15,12	3,89	13,76	-0,14	-0,40	n/a
	g (m ²)	0,134486	1,222819	48,53	0,584748	0,655472	0,597436	0,026904	0,06	0,25	41,92	0,22	-0,36	12,04
	v (m ³)	1,5028	19,3061	720,10	8,6759	Amodal	8,5089	0,4712	18,43	4,29	49,48	0,35	-0,35	178,68
	b (Mg)	0,88	10,23	389,91	4,70	Amodal	4,62	0,25	5,21	2,28	48,58	0,31	-0,44	96,75
	c (Mg)	0,37	4,28	163,26	1,97	Amodal	1,93	0,10	0,91	0,96	48,58	0,31	-0,44	40,51
Zona de Baixa (6,24 ha; 49 Árvores)	DAP (cm)	46,15	114,59	n/a	83,77	74,48	82,76	1,92	181,48	13,47	16,08	-0,23	0,33	n/a
	H (m)	19,40	36,40	n/a	27,30	26,40	27,50	0,58	16,47	4,06	14,87	0,01	-0,25	n/a
	g (m ²)	0,167312	1,031324	27,69	0,565161	0,435734	0,537944	0,025047	0,03	0,18	31,02	0,28	0,06	4,44
	v (m ³)	1,6583	14,9249	394,62	8,0535	Amodal	7,6603	0,4385	9,42	3,07	38,12	0,31	-0,44	63,24
	b (Mg)	0,89	7,50	212,29	4,33	Amodal	4,13	0,24	2,74	1,66	38,22	0,26	-0,57	34,02
	c (Mg)	0,37	3,14	88,88	1,81	Amodal	1,73	0,10	0,48	0,69	38,22	0,26	-0,57	14,24

Legenda: Vmin. – valor mínimo; Vmáx. - valor máximo; EP – erro padrão da média; S² – variância da amostra; S – desvio padrão; CV% - coeficiente de variação; A – assimetria; C – curtose; IP – indicadores de produção; var/ha – variáveis (G, V, B e C relativas a um hectare); DAP – diâmetro à altura do peito; H – altura; g – área basal individual; v – volume individual; b – biomassa acima do solo individual; c – carbono individual; n/a – não se aplica.

Legend: Vmin. – minimum value; Vmáx. – maximum value; EP – Standard error of ; S²: the variance of the date; S: standard deviation; CV%: coefficient of variation; A: asymmetry; Ct: kurtosis; IP – production indicators; var/ha – variables (G, V, B e C for one hectare) ; DAP: diameter at breast height; H: height; g – individual basal area; v – individual volume; b – individual aboveground biomass; c – individual carbono stored; n/a – not applicable.

Além das estatísticas descritivas utilizadas para demonstrar as diferenças entre as ZP, foi realizada a distribuição diamétrica e hipsométrica das árvores em cada zona e para a população, utilizando valores absolutos e indicadores de produção (Figura 4).

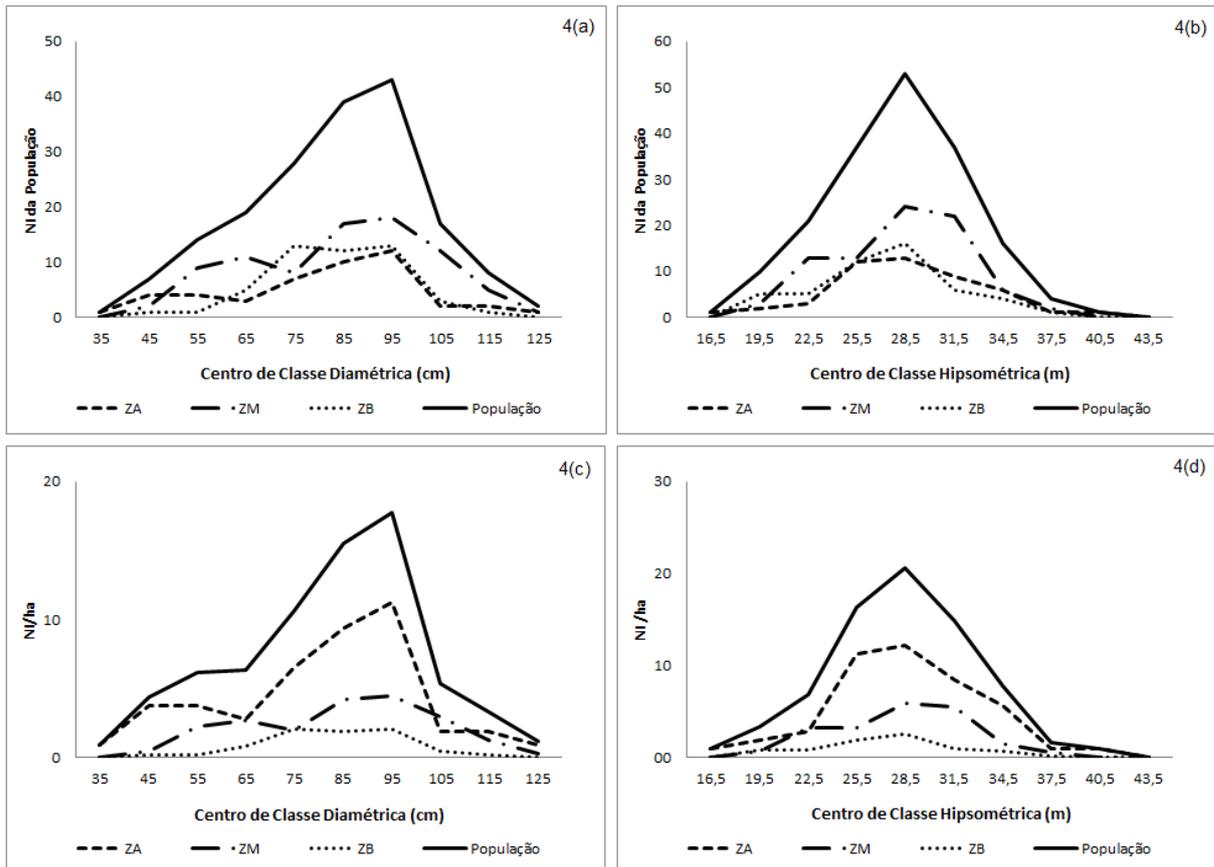


Figura 4. Classes diamétricas e hipsométricas com frequências observadas nas zonas de produção e população com número de árvores absolutos (4a e 4b) e relativos (4c e 4d) da população de *A. angustifolia* no fragmento de FOM em Tapera-RS.

Figure 4. Diametric and hipsometric class with frequencies observed in production zones and population absolute number of trees (4a; 4b) and relative (4c; 4d) of the population of *A. angustifolia* on the FOM fragment in Tapera-RS.

4 Discussões

Os altos cv% e S observados na Tabela 1, também foram descritos por Alvares (2000), para número de fustes, falhas, árvores mortas e quebradas, ao aplicar geoestatística no manejo de povoamentos florestais comerciais de *Eucalyptus* sp em Capão Bonito-SP, bem como para o número de árvores por hectare e volume total de *Pinus pinaster* Aiton (pinheiro-bravo) na Freguesia de Sarnadas Distrito de Castelo Branco, Portugal (MESTRE, 2011), e também por

Amaral (2013b) para o número de indivíduos das espécies *Dicksonia sellowiana* Hook, *Mimosa scabrella* Benth. e *Ilex paraguariensis* A. St.-Hill. (xaxim, bracatinga e erva-mate, respectivamente), ao caracterizar solo e vegetação em um fragmento de FOM com uso de geoestatística, em General Carneiro-PR. Nestes casos, a alta S^2 apresentada pelas variáveis tendem a dificultar o ajuste dos semivariogramas, o que pode resultar em alta soma dos quadrados dos resíduos na análise semivariográfica, e discrepâncias acentuadas entre valores reais e interpolados na validação cruzada, como o observado para G, V, B e C, o que não ocorreu para NI, neste trabalho.

Durante a coleta de dados foi observado no fragmento a ocorrência de taquaras nas clareiras, e cipós envolvendo os indivíduos avaliados, bem como nas demais árvores, o que indica distúrbio na floresta, devido ao histórico de uso do fragmento, como a possível causa da variância observada. Foram também encontrados relatos de abertura de clareiras na floresta causados por evento climático (temporal) em 2012 (Tapera.Net, 2013), outro forte indício de que a mesma encontra-se sob regime de distúrbio. Essa condição, quando severa, pode afetar a análise geoestatística por quebrar a estrutura espacial da floresta (AMARAL et al., 2013b; 2013c). Interferências similares a esta, podem ser devido também a causas antrópicas, que são perceptíveis no trabalho realizado por Akhavan et al., (2010), no qual se observa quebra das estruturas espaciais da floresta, mostrada pelo estoque de madeira na região do Mar Cáspio, Irã.

Com o uso da cokrigagem foi possível gerar estimativas para G, V, B e C, por serem altamente correlacionadas ao NI, o que é bastante favorável a metodologia utilizada, uma vez que segundo Assmann (1961) citado por Schneider et al. (1992), o número de indivíduos por unidade de área expressa a densidade de árvores, e compreende a área utilizada pelas mesmas, o que influencia diretamente a produção. Cezare e Ferreira (2013), obtiveram resultados satisfatórios utilizando a cokrigagem para interpolação da vegetação nativa para Goiás e Distrito Federal, com uso de variáveis como tipo de solos, altitude e precipitação anual.

Com uso de algumas ferramentas do SIG, como análise espacial, foi possível tratar as superfícies interpoladas (cortar pelo limite do fragmento, reclassificar e anular valores negativos, atribuir scores às classes das respectivas variáveis, realizar algebra de mapas, obter os limites e áreas das respectivas ZP, identificar as árvores contidas em cada zona e exportar seu dados para análises posteriores), o

que definiu as ZP e permitiu sua caracterização através da descrição das variáveis de cada árvore mensurada no campo, Tabela 3.

O resultado obtido apontou diferenças entre as ZP quanto a área, NI, G, V, B e C, onde a ZA apresentou os maiores IP, tendo menor área e menor número de árvores. A identificação destas diferenças são importantes para a tomada de decisão pelo gestor florestal, pois o crescimento das árvores é afetado pelo estágio de desenvolvimento de um povoamento, condicionado à espécie, idade, qualidade do sítio, densidade e à unidade de medida em que é expresso (HESS e SCHNIDER, 2010). Desta forma, é plausível esperar que haja variabilidade espacial na população em estudo, pois estes fatores que condicionam o crescimento se alteram no espaço e no tempo, o que é comprovado com a variável NI, que define a densidade juntamente com a área, que apresentou forte DE (99%), Tabela 2. Segundo Assmann (1961) citado por Schneider et al. (1992), mesmo povoamentos com índices de sítio iguais podem conter diferentes áreas basais, e conseqüentemente, diferenças na produção total. Estas diferenças foram definidas por estes autores como “níveis de produção”.

Assim os resultados obtidos, Figura 3.f e Tabela 3, são coerentes, pois na classificação e mapeamento de unidades produtivas em florestas, a classe de menor área correspondem a zona de maior produção, a de maior área compreendem a zona intermediária (SCOLFORO, 1997; MIGUEL et al., 2011), apesar de termos observado a maior área para a ZB, sendo compatível com o descrito por Figueiredo et al. (2007), onde sítios mais produtivos possuem menor área, e os menos produtivos área maior.

No caso da população em estudo, possivelmente isso ocorra por não haver manejo, sendo observado um comportamento de floresta balanceada (Figura 4), pois a distribuição diamétrica não comportou-se como “J invertido”, o que indicaria capacidade de regeneração da espécie, e também pelo fato dos trabalhos de Scolforo (1997) e Miguel et al. (2011) tratarem de florestas plantadas, onde as operações silviculturais e intervenções de manejo tendem a diminuir as diferenças entre as ZP, favorecendo a situação intermediária. Segundo Sanquetta (1996) para manejar racionalmente as florestas alteradas por ações antrópicas é preciso conhecer e respeitar sua capacidade regenerativa, que é relacionada aos processos demográficos de recrutamento, crescimento e mortalidade. Os dados da população em análise sugerem que os dois primeiros processos não ocorrem, isso significa que

há maior probabilidade de haver mortalidade na população, sem que o espaço aberto seja reocupado pela espécie. Longhi (1980) destaca que a distribuição em J-invertido, característica comum em florestas multiâneas, garante que o processo dinâmico da floresta se perpetue, pois a súbita ausência de indivíduos dominantes (maiores dimensões) dará espaço para o desenvolvimento das árvores chamadas de “reposição”. Porém, em situações de distúrbio na FOM, segundo Dalla Corte et al. (2007) e Sanquetta et al. (2007), estes espaços podem ser ocupados por espécies indesejadas, como por exemplo taquaras (*Chusquea* sp. e *Merostachys multiramea* Hackel).

Desta forma, o fato desta população em análise, apresentar-se com distribuição diamétrica equilibrada, significa problemas para o futuro, pois existem poucos indivíduos jovens para manter a espécie na floresta. Segundo Longhi et al. (2010), a araucária tende a ocupar áreas com baixa densidade de indivíduos, pois necessita de relativa luminosidade. Isso significa que em ZA por exemplo, há necessidade de abertura de pequenas clareiras para permitir o surgimento e desenvolvimento de indivíduos de pequeno diâmetro, visto a sua baixa frequência (Figura 4a e 4c). Longhi (2011) observou diminuição do número de indivíduos na primeira classe de diâmetro (9,5 - 19,5 cm), em uma parcela testemunha de FOM em Nova Prata-RS (Fazenda Tupi), por haver maior taxa de mortalidade do que de recrutamento, em relação a parcelas que receberam cortes seletivos (diferentes intensidades de manejo), avaliadas oito anos após os tratamentos. Na Amazônia Brasileira, Higuchi et al. (1997) testaram diferentes intensidades de redução de área basal, onde a não remoção gerou os menores incrementos de área basal e volume, em relação às retiradas de 25, 50 e 75%.

A área basal é uma variável muito importante para a araucária, pois quando a mesma é alta as chances de ocorrência da espécie aumentam. Na Flona de São Francisco de Paula-RS, com o aumento de uma unidade de área basal, a chance de ocorrência da espécie aumenta em 18,77 vezes. Quando a araucária está presente a G da floresta é alta, sendo este incremento uma característica de espécie dominante, em função dos grande diâmetros alcançados pela mesma (LONGHI et al., 2010).

A G da araucaria obtida para a ZA (23,55 m² ha⁻¹) foi superior a encontrada por Piroli e Chaffe (2003), 18,43 m² ha⁻¹, onde a espécie apresentou o maior valor de importância, em FOM localizada no município de Sertão, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, valor superior em relação aos da ZM e ZB (12,04 e 4,44 m² ha⁻¹). Porém, Sonogo et al. (2007) observaram para a espécie um valor superior ao da ZA,

49,04 m² ha⁻¹, na FLONA de São Francisco de Paula, devido a floresta ser mais preservada, com dominância de araucárias no estrato superior.

O volume de madeira também é uma variável de extrema importância para o manejo florestal. Segundo Hosokawa et al. (1998), o volume de um povoamento natural varia em função da capacidade produtiva do solo e da distribuição irregular das espécies. Por isso é impossível esperar que uma divisão da área em partes iguais corresponda à divisão do volume também em partes iguais, e isso fica muito evidente nos resultados obtidos, tanto nos mapas quanto nas tabelas descritivas das ZP. O V observado na ZA (350,94 m³ ha⁻¹) foi superior ao encontrado por Hess et al. (2010), 255,93 m³ ha⁻¹, numa FOM em Lages-SC, e por Schumacher et al. (2011), 288,49 m³ ha⁻¹, em plantios da espécie no Paraná, valores superiores aos da ZM e ZB (178,68 e 63,24 m³ ha⁻¹). Já o número de indivíduos por hectare de araucária na ZA (43), foi inferior ao observado por Watzlawick et al. (2003) e por Schumacher et al. (2011), 540 e 376 árvores ha⁻¹, respectivamente, por serem dados de plantios.

A variabilidade espacial da biomassa e carbono na FOM foi demonstrada por Amaral et al. (2010), de forma similar aos resultados aqui obtidos quanto a DE. A biomassa arbórea obtida para ZA e ZM (151,98 e 96,75 Mg ha⁻¹), foram superiores ao observado por Watzlawick et al. (2012) para a araucária (58,06 Mg ha⁻¹) numa FOM em General Carneiro-PR, que continha 250,90 Mg ha⁻¹ de biomassa arbórea. Estes valores de B para a espécie, foram inferiores ao valor médio para plantios de araucária em General Carneiro-PR (241,82 Mg ha⁻¹), com idade entre 23 e 32 anos (WATZLAWICK, 2003). Já em relação aos plantios da espécie em Quedas do Iguaçu-PR, o valor obtido em ZA foi próximo, 198,62 Mg ha⁻¹, aos 27 anos de idade (SCHUMACHER et al., 2011). Com 30 anos de idade, num plantio em General Carneiro-PR, Watzlawick et al. (2003) observaram 304,2 Mg ha⁻¹, com uma densidade de 540 árvores por hectare, valores também superiores aos da ZA.

Todas as variáveis analisadas neste trabalho comportaram-se segundo o descrito por Passos e Braz (2004), ou seja, com alta variabilidade na floresta nativa. Acredita-se ser de fundamental importância a determinação de ZP, através de metodologias baseadas em análises espaciais das variáveis da população amostrada (NI, G, V, B e C), combinadas por álgebra de mapas. Geralmente a estratificação de florestas é feita de maneira subjetiva e/ou baseada em apenas uma ou duas variáveis. Watzlawick et al. (2004) estratificaram plantios de araucária com base em biomassa e carbono estimados a partir de imagens orbitais IKONOS II,

e obtiveram acurácia satisfatória, quanto a área obtida, somente para a classe intermediária destas variáveis, dentre as três classes utilizadas. Já Figueiredo et al. (2007), utilizaram apenas o volume das árvores para estratificação da floresta em um plano de manejo na Amazônia, e Alvarenga et al. (2012) utilizaram esta variável para estratificar um Cerrado Strictu Sensu em Minas Gerais. Portanto, técnicas mais eficientes para estratificação horizontal devem ser desenvolvidas e utilizadas, para aumentar a qualidade do manejo das florestas nativas, com base nas características de cada zona. Desta forma, otimizam-se as atividade de manejo e reduzem-se os impactos às florestas, com maximização do uso dos recursos florestais. Também poderão haver o aperfeiçoamento do conceito e das práticas de exploração florestal de impacto reduzido, o que pode ser chamado de manejo florestal de precisão.

5 Conclusões

A hipótese que rege este trabalho foi aceita e os objetivos foram cumpridos, pois as variáveis analisadas apresentaram DE, o que permitiu estimá-las por krigagem e/ou cokrigagem, e quando combinadas por álgebra de mapas, determinaram as ZP. A metodologia utilizada foi adequada e sensível às diferenças apresentadas pela população de *A. angustifolia*. Comprova-se que pequenos fragmentos florestais possuem variabilidade espacial, configurando distintas zonas de produção ou de manejo, não podendo ser tratados como fragmentos uniformes para fins de manejo.

Foi possível determinar zonas de alta, média e baixa produção para a espécie em questão. Cada zona exigirá intervenções específicas, seja para a extração de madeira ou conservação da espécie, bem como da floresta, mediante o emprego de tratamentos silviculturais e atividades do manejo florestal, que terão de ser mais precisas e acuradas em relação aos conceitos e aplicações convencionais.

Agradecimentos

A Prefeitura Municipal de Tapera-RS e ao departamento de Meio Ambiente, que permitiram o acesso a área des estudo, bem como aos graduandos em Engenharia Florestal da UFSM que realizaram a coleta dos dados.

6 Referências Bibliográficas

AKHAVAN, R.; ZAHEDI AMIRI, Gh.; ZOBELI, M. Spatial variability of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v.8, p.43-53, 2010.

ALVARENGA, L.H.V. et al. Desempenho da estratificação em um fragmento de Cerrado Stricto Sensu utilizando interpolador geoestatístico. **Cerne**, v.18, n.4, p.675-681, 2012.

ALVARES, C.A. et al. Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos florestais. **Revista MundoGeo**, 2010. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/geoestatistica-aplicada-ao-manejo-de-povoamentos-florestais/>>. Acesso em 02 de dez. de 2013.

AMARAL, L.P. et al. Geoestatística aplicada à caracterização de florestas nativas. 4. CONGRESO FORESTAL ARGENTINO Y LATINO AMERICANO, Puerto Iguazú, 2013. **Anais do** Puerto Iguazú: AFOA/INTA/MISIONES/FAO, 2013a, p.1-10. Disponível em: < http://www.congresoforestal.org.ar/ponencias/presentaciones_orales/246.pdf>. Acesso em 01 de dez. de 2013.

AMARAL, L.P. et al. Influência da floresta alterada na distribuição espacial de três espécies da Floresta Ombrófila Mista avaliada pela Geoestatística. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.3, p. 491-501, 2013b.

AMARAL, L.P. et al. Uso de geoestatística no estudo do Índice de Diversidade de Shannon-Wiener em Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.42, n.97, p.83-93, 2013c.

AMARAL, L.P. et al. Variabilidade espacial da área basal numa parcela permanente na Floresta Ombrófila Mista. 4. SEMANA DA GEOMÁTICA, 2012, Santa Maria. **Anais da** Santa Maria: Colégio Politécnico da UFSM, 2012, p.10-17.

AMARAL, L.P. et al. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v.6, Edição especial, p.103-114, 2010.

BALBINOT, R. et al. Ajuste de equações alométricas para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. utilizando análise de componentes principais conjuntamente com análise de regressão. **Floresta**, v.39, n.2, p.232-237, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa n.6**. MMA, 23 de setembro de 2008. Reconhece espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/179_05122008033615.pdf>. Acesso em 05 de dez. 2013.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Inventário Florestal Nacional: Florestas Nativas do Rio Grande do Sul**. Brasília: Edit. Gráfica Brasileira Ltda., FATEC, 1983. 345p.

CEPSRM/UFRGS. **Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 2001. Disponível em: <http://www1.seplag.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1330>. Acesso em 27 de dez. de 2013.

CEZARE, C.H.G.; FERREIRA, N.C. Mapeamento da vegetação nativa original em áreas antropizadas no Estado de Goiás e Distrito Federal utilizando geoestatística. **Boletim Goiãno de Geografia**, v.33, n.1, p.157-177, 2013.

CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. **Oecologia**, v.145, p.87-99, 2005.

DALLA CORTE, A.P. et al. Regeneração natural na Floresta Ombrófila Mista submetida a tratamentos de controle de taquara. **Revista Academica**, v.5, n.2, p.177-188, 2007.

DANNER, M.A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J.Z. O cultivo da araucária para produção de pinhões como ferramenta para a conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.32, n.72, p.441-451, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Atlas climático da região sul do Brasil**. Embrapa Clima Temperado/Embrapa Florestas, Pelotas/Colombo, Brasil, 2011.

FIGUEIREDO, E.O. et al. **Processamento primário dos dados e elaboração do mapa de exploração**. IN: FIGUEIREDO, E.O.; BRAZ, M.; d'OLIVEIRA, M.V.N. Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco: EMBRAPA, 2007, 183p.

GREIG-SMITH, P.; AUSTIN, M.P.; WHITEMORE, T.C. The application of quantitative methods to vegetation survey. I. Association analysis and principal component ordination of rain forest. **Journal of Ecology**, v.55, n.2, p.483-503, 1967.

GUERRA, M.P. et al. **Exploração, manejo e conservação de araucária (*Araucaria angustifolia*)**. In: SIMÕES, L.L.; LINO, C.F. (Org.) Manejo Sustentável da Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais. São Paulo: SENAC, 2002, p.85-102.

HESS, A.F. et al. Proposta de manejo de *Araucária angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no Município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p.337-345, 2010.

HESS, A.F.; SCHNEIDER, P.R. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v.20, n.1, p.107-122, 2010.

HIGUCHI, N. et al. **Crescimento e incremento de uma Floresta Amazônica de Terra Firme manejada experimentalmente**. Manaus: INPA/DFID, 1997, p.87-132 (Relatório Final do Projeto Bionte).

HOSOKAWA, R.T.; MOURA, J.B.; CUNHA, U.S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: UFPR, 1998, 164p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 275p.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press: 600 p. 1989.

LAVEN, R.D. Establishing homogeneity in studies of forest succession. **Forest Ecology Management**, v.4, p.161-177, 1982.

LEGENDRE, P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? **Ecology**, v.74, n.6, p.1653-1673, 1993.

LONGHI, R.V. **Manejo experimental de uma Floresta Ombrófila Mista secundária no Rio Grande do Sul**. 2011. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

LONGHI, S.J. **A estrutura de uma Floresta Natural de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze., no sul do Brasil**. 1980. 198f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

LONGHI, S.J. et al. Fatores ecológicos determinantes na ocorrência de *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*, na Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v.40, p.57-63, 2010.

MACHADO, S.A.; MELLO, J.M.; BARROS, D.A. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o Pinheiro do Paraná, na região Sul do Brasil. **Cerne**, v.6, n.2, p.55-66, 2000.

MATTOS, P.P. et al. **Caracterização física, química e anatômica da madeira de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Kuntze**. Comunicado Técnico 160. Colombo: EMBRAPA FLORESTAS, 2006, 4p.

McEVORY, T.J. **Positive impact forestry**: a sustainable approach to managing woodlands. Washington, DC: Island Press, 2004. 268p.

MESTRE, S.C. **Modelação espacial da produção de pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Aiton) na Freguesia de Sarnadas de São Simão**. 2011, 125p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Sustentabilidade dos Sistemas Florestais), Instituto Politécnico de Castelo Branco – Escola Superior Agrária, Castelo Branco, 2011.

MIGUEL, E.P. et al. Classificação de sítio para plantios de *Eucalyptus urophylla* em Niquelândia, estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, p.1-11, 2011

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v.11, p.9-25, 2001.

PASSOS, C.A.M.; BRAZ, E.M. Manejo florestal e silvicultura de precisão na Amazônia. **Revista da Madeira**, n.85, 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=651&subject=Manejo&title=Manejo>. Acesso em 01 de dez. de 2013.

PIROLI, E.L.; CHAFFE, P.P. Análise florística e determinação de volume das principais espécies ocorrentes em uma Floresta Ombrófila Mista. 3. ENCONTRO DA ENERGIA NO MEIO RURAL, 2003. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100001&script=sci_arttext>. Acesso em 05 de dez. de 2013.

PORTER-BOLLAND, L. et al. Community managed forest and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, In Press, 2011.

RANGEL, M.S. et al. Melhoria na precisão da prescrição de manejo para floresta natural. **Cerne**, v.12, n.2, p.145-156, 2006.

ROSOT, M.A.D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da floresta com araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.55, p.75-85, 2007.

SANQUETTA, C.R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUPEF, 1996, 49p. (Série Didática, n. 8).

SANQUETTA, C.R. **Manual para instalação e medição de parcelas permanentes nos Biomas Mata Atlântica e Pampa**. S.l.: RedeMap, Curitiba: Funpar, 2008. 43p.

SANQUETTA, C.R. et al. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinnus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.1, n.3, p.33-40, 2003.

SANQUETTA, C.R. et al. Dinâmica de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná sob influência de taquaras. **Revista Ambiência**, v.3, n.1, p.65-78, 2007.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal**: métodos para classificação de sítios florestais. Lavras: UFLA/FAEP, 1997, 151p.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; HOPPE, J.M. Produção da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. na região do planalto médio do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v.2, n.1, p.99-118, 1992.

SCHUMACHER, M.V. Produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze de 27 anos de idade em Quedas do Iguaçu, PR. **Ciência Florestal**, v.21, n.1, p.53-62, 2011.

SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente**. 2 ed., Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006, 214p.

SONEGO, R.C.; BACKES, A.; SOUZA, A.F. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não paramétricos de riqueza e refração de amostras. **Acta Botanica Brasilica**, v.21, n.4, p.943-955, 2007.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008, 222p.

TAPER.NET. **Floresta Municipal das Araucária Janaína Orth reabre amanhã**. 29 de novembro de 2013. Disponível em: <<http://blog.tapera.net/2013/11/floresta-municipal-das-araucarias.html>>. Acesso em 16 de dez. 2013.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. de; ALVARES V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

WATZLAWICK, L.F. **Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens de satélite IKONOS II**. 2003, 120f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

WATZLAWICK, L.F. et al. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.1, n.2, p.63-68, 2003.

WATZLAWICK, L.F. et al. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Biomassa e Energia**, v.1, n.2, p.209-219, 2004.

WATZLAWICK, L.F. et al. Variações nos teores de carbono orgânico em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.3, p.248-258, 2011.

WATZLAWICK, L.F. et al. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Scientia Forestalis**, v.40, n.95, p.353-362, 2012.

WEBB, L.J. et al. Studies in the numerical analysis of complex rain-forest communities. I. A comparison of methods applicable to site/species data. **Journal of Ecology**, v.55, n.4, p.171-191, 1967.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 215p.

ARTIGO 2 – SENSIBILIDADE DA GEOESTATÍSTICA À DIFERENTES INTENSIDADES DE MANEJO FLORESTAL EXPERIMENTAL EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO RIO GRANDE DO SUL.

ARTICLE 2 – SENSITIVITY OF GEOSTATISTICS TO DIFFERENT INTENSITIES OF EXPERIMENTAL FOREST MANAGEMENT IN MIXED OMBROPHILOUS FOREST IN RIO GRANDE DO SUL.

Lúcio de Paula Amaral¹, Régis Villanova Longhi²; Paula Leticia Wolff Kettenhuber³;
Elódio Sebem⁴; Paulo Renato Schneider⁵

¹ Engenheiro Florestal, PPGAP; PPGEF; Prof. Me – Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento e Curso Técnico em Geoprocessamento, Colégio Politécnico, UFSM. Av. Rorâima, n 1000, Prédio 70, Bloco F – Sala 212 C, Santa Maria-RS, CEP 97.000-000. Autor para contato: lpamaralengflorestal@gmail.com;

² Engenheiro Florestal, PPGEF, UFSM. Av. Rorâima, n 1000, Prédio 44, 2 Piso – Sala 5255, Santa Maria-RS, CEP 97.105-900. E-mail: regislonghi@yahoo.com.br;

³ Graduanda em Engenharia Florestal, CCR, UFSM. Av. Rorâima, n 1000, Prédio 42, 1 Piso – Sala 3131, Santa Maria-RS, CEP 97.105-900. E-mail: paulaleticia_wolff@hotmail.com;

⁴ Engenheiro Florestal, PPGAP, Prof. Orientador; Prof. Dr. Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento e Curso Técnico em Geoprocessamento, Colégio Politécnico, UFSM. Av. Rorâima, n 1000, Prédio 70, Bloco F – Sala 212 C, Santa Maria-RS, CEP 97.000-000. E-mail: elodiosebem@politecnico.ufsm.br;

⁵ Engenheiro Florestal, PPGEF, Prof. Dr. - Curso de Graduação em Engenharia Florestal, CCR, UFSM. Av. Rorâima, n 1000, Prédio 44, 2 Piso – Sala 5255, Santa Maria-RS, CEP 97.105-900. E-mail: paulors@smail.ufsm.br.

Resumo

O manejo florestal pode alterar as estruturas espaciais da floresta, dependendo da sua intensidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade da geoestatística nesta condição, em parcelas com 0,5 ha de Floresta Ombrofila Mista, em Nova Prata-RS. Foram avaliados área basal - G (m²) e volume comercial - V (m³) nas subunidades das parcelas (100m²), obtidos de inventários realizados em 2001 (pré-exploratório), 2006 e 2010 (1º e 2º monitoramentos). Os tratamentos foram cortes seletivos leve, médio e pesado, com retirada, respectivamente, de 20, 40 e 60% da G em cada classe de diâmetro, aplicados em 2002. Na testemunha não houve corte, e trata-se de meia parcela do PELD – Programa Ecológico de Longa Duração, localizada próxima as demais. Foram ajustados semivariogramas e obtidas superfícies simuladas (simulação condicional), para cada situação. O modelo mais utilizado foi o Gaussiano,

provavelmente devido a configuração espacial das amostras. Quando comparadas parcela alterada (cortes) e testemunha, a sensibilidade foi mais perceptível nas superfícies simuladas. As alterações na floresta, bem como o histórico da testemunha, podem ter interagido com a configuração espacial das amostras, causando dificuldades de ajuste semivariográfico. Quando considerados os cortes, o leve foi o que causou as menores alterações, também mais perceptível na superfície simulada. Para o corte médio, observou-se efeito pepita puro, pois intensificou a aleatoriedade existente na parcela anteriormente à intervenção. Já no corte pesado, houve grandes mudanças na estrutura da floresta, as zonas de altos valores de G e V passaram a ser zonas de baixo valores, devido a mortalidade de indivíduos remanescentes na primeira, ingressos e incremento na segunda. O trabalho sugere que o corte seletivo leve é o mais indicado, por causar menor alteração na floresta e por repor a madeira em menor tempo, em relação aos demais. Comparado a testemunha, o mesmo apresentou-se espacialmente estruturado e mais produtivo. A geoestatística foi sensível as mudanças na floresta expressas nas superfícies simuladas. A metodologia foi adequada ao trabalho proposto e os objetivos foram alcançados.

Palavras-chave: Florestas de Precisão; Manejo Florestal de Precisão; Floresta com Araucária.

Abstract

The forest management can change spatial structures of the forest depending on its intensity. The objective of this study was to evaluate the sensitivity of geostatistics in this condition in a sample unit with 0.5 ha of Araucaria Forest, in Tupi Farm, Nova Prata, RS, Brazil. We evaluated basal area ($G \text{ m}^2$) and commercial volume ($V \text{ m}^3$) in the subunits (100m^2) obtained from the inventories in 2001 (pre-harvest), 2006 and 2010 (1st and 2nd monitoring). The treatments were light, medium and heavy selective harvesting, removing, respectively, 20, 40 and 60% of G in each diameter class implemented in 2002. There was no harvest in the control treatment, which is a half portion sample of Long Duration Ecological Program (PELD), located near the others. Semivariograms were adjusted and simulated surfaces were obtained (conditional simulation) for each situation. The most widely used model was Gaussian due to the spatial configuration of the sample. When the disturbed sample (harvests) was compared to the control, sensitivity was more noticeable in the simulated surfaces. Changes in the forest as well as the historical control may have interacted with the spatial configuration of the

samples, causing semivariogram adjustment difficulties. When considered the harvests, the light harvest caused minor changes, which was also more noticeable in the simulated surface when compared to the others. To the medium harvest, there was pure nugget effect, since it intensified the existing randomness in the sample unit before the intervention. On the other hand, in the heavy harvesting, there were major changes in the forest structure; the zones of high values of G and V have become areas of low values due to the mortality of individuals remaining in the former, and the increase and inflow of trees occurring in the latter. The study suggests that light selective harvesting is the most appropriate to cause minor alterations in the forest and to restore the wood in shorter time, when compared to the others. When compared to control, the light selective harvesting showed to be spatially structured and more productive. The geostatistical analysis was sensitive to changes in the forest expressed in the simulated surface. The methodology was appropriate for the proposed study and the objectives were achieved.

Keywords: Forest Precision; Precision Forest Management; Araucaria Forest.

1 Introdução

O manejo sustentável é aquele que favorece uma produção contínua do recurso explorado, sem a deterioração dos demais recursos e benefícios envolvidos (SCOLFORO, 1998). O manejo florestal sustentado bem aplicado é uma das formas de uso das áreas florestais, por manter as principais funções ambientais da biodiversidade (SCHNEIDER e FINGER, 2000). Para que isso ocorra, as estruturas da floresta e suas características não podem ser alteradas de forma intensa, mediante a retirada desordenada de madeira, bem como de outros produtos florestais.

As florestas são fenômenos naturais espacialmente estruturados (SOARES, 2006), e segundo Amaral et al. (2013 a,b) esta característica pode ser utilizada para detectar mudanças na estrutura das mesmas após as intervenções (manejo e exploração florestal, uso antrópico inadequado, eventos naturais de grande impacto, entre outros). A geoestatística vem sendo utilizada para auxiliar e contribuir na busca pelo melhor entendimento e compreensão das florestas, sejam naturais ou plantadas. Ultimamente, ela também vem sendo indicada para complementar os trabalhos sobre manejo florestal (FIGUEREDO et al., 2007; LEAL, 2011;

ALVARENGA et al., 2012; PELISSARI, 2012; AMARAL et al., 2013 a,b). Embora a localização espacial das árvores, por si só, representem um padrão pontual de objetos discretos (DALE, 2000), os seus atributos como diâmetro, altura, área basal, volume, biomassa, densidade, entre outros, são diretamente influenciados por variáveis com continuidade espacial, como radiação solar, temperatura e precipitação, características do solo, disponibilidade de água, nutrientes e aspectos físicos, entre outros fatores, permitindo assim considerar a floresta um fenômeno espacialmente contínuo (KINT et al., 2003; SOARES, 2006; AMARAL, 2010).

O estoque de madeira e/ou seu incremento em plantações de algumas espécies florestais foram descritos em diversos trabalhos utilizando geoestatística, tanto no Brasil como no exterior (AKHAVAN e KIA-DALIRI, 2010; MELLO et al., 2006; KINT et al., 2003; BIONDI et al., 1994; SANRA et al., 1989). No entanto, nem sempre chegou-se a conclusão de que a geoestatística seria a técnica mais indicada para se trabalhar com florestas nativas, principalmente àquelas manejadas (AKHAVAN et al., 2010), devido as dificuldades de ajustar semivariogramas frente a dadas condições das florestas, que combinadas com os efeitos de suavização da krigagem, levam a diferenças consideráveis entre valores amostrados e estimados.

Na maioria deste trabalhos foi utilizada a krigagem ordinária para a realização de estimativas em pontos não amostrados (interpolação). Contudo, esta técnica não é a mais adequada quando o objetivo é trabalhar com os valores interpolados absolutos, sendo mais indicada para determinação de tendências do comportamento espacial de uma dada variável regionalizada (YAMAMOTO, 2005; ABREU et al., 2011; AMARAL et al., 2013b).

A simulação estocástica condicional, é uma alternativa à krigagem ordinária, sendo fiel aos dados amostrados, e também reproduz o modelo de covariância entre pontos experimentais e teóricos no semivariograma (JOURNEL, 1974). Esta técnica dispõe ainda de múltiplas soluções, vistas como imagens alternativas da realidade (equiprobabilidade), e o seu conjunto fornece uma apreciação da incerteza global, considerando a realidade representada pelos dados amostrais. Foi desenvolvida para corrigir o efeito de suavização em mapas gerados por krigagem ordinária, acessando a incerteza associada à estimativa antes da predição, não se preocupa com a minimização do erro local, mas sim em honrar as feições globais dos dados amostrados, seu histograma e sua continuidade espacial. A partir de medidas de diferenças entre várias simulações, que em média reproduzem as feições globais da

amostra, se quantifica a incerteza da estimativa (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Segundo Monteiro (2003), na simulação condicional o compromisso é com o realismo do fenômeno, por meio da predição da sua função de densidade de probabilidade.

Quanto aos problemas relacionados aos ajustes semivariográficos, os mesmos podem estar relacionados à configuração da amostra, inadequada a variabilidade em pequena escala na variável em análise e dependente de sua natureza, ou então, à condição do fenômeno ou evento avaliado, sob influências de fatores externos, como por exemplo ação antrópica. Em florestas nativas, a condição de floresta alterada pode influenciar na análise geoestatística, fazendo com que não se observe em alguns casos dependência espacial nas variáveis de interesse (AMARAL, 2010; AKHAVAN et al., 2010; AMARAL et al., 2010a). No entanto, esta sensibilidade da geoestatística pode ser utilizada para detectar alterações severas na floresta, pois os parâmetros espaciais e os produtos originados a partir de semivariogramas ajustados, podem mostrar a desestruturação espacial na mesma, mediante a abertura de espaços, sendo esta a hipótese que rege este trabalho.

O objetivo deste trabalho foi comprovar que a geoestatística é sensível às mudanças ocorridas na floresta, evidenciado por meio de ajustes semivariográficos e superfícies simuladas em uma Floresta Ombrófila Mista (FOM) no Rio Grande do Sul, em diferentes épocas, antes e após a aplicação de cortes seletivos planejados experimentalmente.

2 Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo é constituída por parcelas de manejo experimental em uma Floresta Ombrófila Mista Montana (IBGE, 2012) secundária (extração comercial de madeira entre a década de 1970 e meados de 1980), localizada na Fazenda Tupi, entre as coordenadas 28°43' a 28°40' de Latitude Sul, e 51°38' a 51°36' de Longitude Oeste, com 662 metros de altitude média, com área total de 962,3 ha, pertencente à Paludo Agropecuária S.A., empresa do Grupo VIPAL, situada no município de Nova Prata, Rio Grande do Sul, Brasil (LONGHI, 2011).

A propriedade apresenta um dos últimos grandes remanescentes de FOM na região Nordeste do RS, sendo que 784,3 hectares são de Floresta Ombrófila Mista. Essa tipologia é caracterizada pelo caráter “ombrófilo”, que refere-se ao clima, ou

seja, formação florestal situada numa região com alta pluviosidade, onde ocorrem chuvas bem distribuídas ao longo do ano. O caráter “misto” dá-se pela mistura de floras com origens distintas: temperada (austro-brasileira) e tropical (afro-brasileira). Já o caráter “montano” deve-se ao fato da floresta localizar-se entre 400 m e mais ou menos 1.000 m de altitude. Diversos estudos foram realizados nesta floresta (MOSCOVICH, 2006; LONGHI, 2011; CALLEGARO, 2012), entre outros, mas nenhum sob a abordagem geoestatística aplicada a floresta, quanto mais voltado ao manejo florestal.

O clima da região é do tipo *Cfb*, segundo a classificação de Köppen (EMBRAPA, 2011), com temperatura média anual de 17,2° C, sendo junho o mês mais frio e janeiro o mais quente, com médias de 12,8 e 21,8° C, respectivamente. A umidade relativa média anual é de 76%, e as precipitações são regularmente distribuídas em todos os meses do ano, com média anual acumulada de 1736 mm, sendo o mês de setembro o mais chuvoso, com 185 mm; e maio o mais seco, com 107 mm. A formação de geadas na região é um fenômeno comum, em virtude de suas latitude e orografia. Em média, ocorrem quatro geadas no outono, 13 no inverno e três na primavera, variando entre um mínimo de oito e um máximo de 32 geadas anuais (MOSCOVICH, 2006).

A unidade de relevo que ocorre na região é do tipo Planalto das Araucárias, situado na parte intermediária da Serra Geral e as declividades médias do local não ultrapassam 30%. A Formação Serra Geral constitui a formação litológica fundamental, constituída por uma sequência espessa de rochas vulcânicas predominantemente básicas, mas que contém também elementos ácidos, mais abundantes na porção superior dos derrames de basalto (HERMANN e ROSA, 1990). As classes de solo que mais se destacam em Nova Prata são Latossolo Vermelho Distroférico húmico e uma associação de Neossolo Regolítico Eutrófico, Cambissolo Háplico Eutrófico e Luvisolo Háplico Pálico (STRECK et al., 2008).

2.2 Obtenção dos Dados

Os dados foram coletados, tratados e processados por Longhi (2011), onde estão descritos os detalhes desta etapa. Os mesmos foram disponibilizados pelo autor, em forma de planilhas eletrônicas para a elaboração deste trabalho. Os dados utilizados no presente trabalho foram área basal - G (m^2), volume comercial - V (m^3) por subunidade amostral, obtidos em três épocas (2001, 2006 e 2010) em parcelas

permanentes de 0,5 ha, divididas em 50 subunidades (Figura 1), em cada um dos tratamentos descritos abaixo:

- **Testemunha:** unidade que não sofreu intervenção (parcela originalmente com 1 ha, pertencente ao PELD (Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração), mas que foi utilizado 0,5 ha para que todas as unidades tivessem as mesmas área e dimensões);
- **Corte Seletivo Leve:** rebaixamento da curva de distribuição de frequência, com retirada de cerca de 20% do total da área basal, por classe de DAP – diâmetro à altura do peito;
- **Corte Seletivo Médio:** rebaixamento da curva de distribuição de frequência, com retirada de cerca de 40% do total da área basal, por classe de DAP;
- **Corte Seletivo Pesado:** rebaixamento da curva de distribuição de frequência, com retirada de cerca de 60% do total da área basal, por classe de DAP.

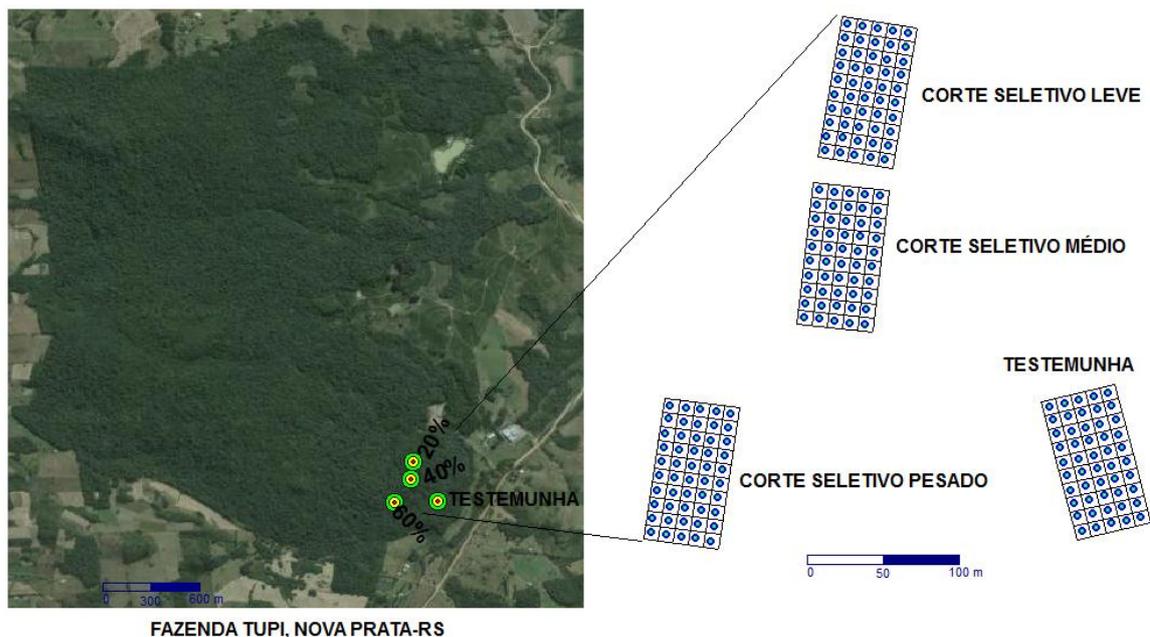


Figura 1. Disposição das parcelas de manejo experimental na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Figure 1. Arrangement of sample unit experimental forest management in Tupi farm, Nova Prata, Brazil.

Longhi (2011) obteve área basal (G) e volume comercial (V), utilizando as seguintes equações (BRASIL, 1983): $g_i = ((d_i^2 * \Pi) / 40000)$; $G = \sum g_i$;

onde: g_i = área basal de uma árvore (m^2); d_i = diâmetro à altura do peito (cm); G = somatório da área basal na subunidade amostral (m^2).

$$\text{Log}v_i = b_0 + b_1 \log d_i + b_2 \log hc; V = \sum v_i$$

onde: \log = logaritmo de base 10; v = volume comercial com casca por árvore (m^3); d_i = diâmetro a altura do peito (cm); hc = altura comercial (m); b_0 ; b_1 e b_2 = coeficientes da equação, sendo para folhosas, -3,95275; 2,04254 e 0,61461, respectivamente em ordem para os referidos coeficientes, com coeficiente de determinação de 0,9670 e erro padrão de estimativa de 0,131870; e para *Araucaria angustifolia*, -4,29736; 2,18419 e 0,68504, respectivamente em ordem para os referidos coeficientes do modelo, com coeficiente de determinação de 0,9847 e erro padrão de estimativa de 0,072990; V = somatório do volume na subunidade amostral (m^3).

Segundo Longhi (2011) as intervenções de manejo ocorreram em 2002, retirando-se preferencialmente indivíduos defeituosos, mortos, danificados e indivíduos das espécies com as maiores densidades absolutas, sem levar em consideração o valor comercial das mesmas e respeitando os critérios estabelecidos em cada tratamento. Nos demais períodos foram realizadas mensurações para obtenção das variáveis descritivas da floresta em árvores com CAP ≥ 30 cm (2001 – inventário pré-exploratório; 2006 – 1º inventário de monitoramento; e 2010 – 2º inventário de monitoramento).

2.3 Procedimento Analítico

Foram inseridas coordenadas UTM, Datum WGS 84, Zona GPS 22J às planilhas de todos os tratamentos relativas a localização espacial das subunidades das parcelas consideradas, obtidas de um arquivo CAD (extensão .dxf), também elaborado por Longhi (2011). Estas planilhas foram importadas para o programa GS+, onde procederam-se os ajustes dos semivariogramas isotrópicos e obtiveram-se as superfícies simuladas utilizando a simulação estocástica condicional (SOARES, 2006; YAMAMOTO E LANDIM, 2013) como método de interpolação para as variáveis, para cada ano de mensuração dos tratamentos descritos. Em cada procedimento de simulação condicional no GS+ foram geradas 1000 realizações (imagens), que honram

os valores amostrados reproduzindo as características globais e estatísticas, ou seja, o histograma amostral e a covariância (MONTEIRO, 2003). Como produto final dessas realizações obteve-se uma imagem final média para cada análise. Estas interpolações foram salvas no formato .grd e exportadas para o SIG ArcGis 10.2, para posteriores edições. Precedendo ao ajuste semivariográfico foi empregada a estatística descritiva, afim de melhor conhecer as variáveis em estudo.

3 Resultados

As estatísticas descritivas para área basal e volume comercial obtidos nos tratamentos, nas distintas épocas de mensuração estão dispostas na Tabela 1. De maneira geral, na ocasião anterior às intervenções de manejo, a parcela submetida ao corte pesado era a que apresentava os menores valores de área basal e volume comercial, contendo também as menores variâncias para os mesmos. Já a parcela testemunha era a que continha os maiores valores de G e V, e também as maiores variâncias. Todas as variáveis apresentaram coeficientes de curtose positivos, indicando variado grau de heterogeneidade (curtose leptocúrtica). Os parâmetros dos ajustes semivariográficos encontram-se descritos na Tabela 2, onde o modelo gaussiano foi o que mais se ajustou ao semivariograma experimental. Para área basal na parcela testemunha, volume comercial e área basal no corte seletivo médio, em todas as mensurações, e no inventário pré-exploratório (2001) do tratamento corte seletivo pesado, foi observado efeito pepita puro (comportamento totalmente aleatório), ou seja, ausência de dependência espacial.

A Figura 2 apresenta as superfícies médias simuladas para G e V, em todas as parcelas, nos respectivos tratamentos e épocas que apresentaram dependência espacial. Na parcela testemunha, apenas o volume comercial apresentou dependência espacial. Mas poucas mudanças ocorreram (Figura 2f, 2g e 2h), pois o crescimento da floresta foi o menor observado entre os tratamentos avaliados. No corte seletivo leve o comportamento da área basal e volume comercial mostraram-se pouco alterados, notando-se um pequeno aumento de valores na região central, nos anos de 2006 e 2010 em relação a 2001 (Figura 2a, 2b e 2c; 2f, 2g e 2h). Já no corte seletivo pesado, houveram mudanças evidentes na floresta, para o ano de 2010 em relação ao de 2006, onde observou-se no canto inferior esquerdo a expansão das zonas de baixos valores de G e V sobre as de altos valores (2d e 2e; 2l e 2m).

Tabela 1. Estatística descritiva para os diferentes tratamentos e épocas empregados em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.
Table 1. Descriptive statistics for the different treatments and times employed in MOF in the Tupi Farm, Nova Prata, RS.

Variável/tratamento	Média	Mediana	Moda	Erro Padrão	Valor Máximo	Valor mínimo	Variância	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose	CV
G Test 2001	0,298123	0,271783	Amodal	0,023879	0,854291	0,033982	0,028509	0,168847	1,16	1,85	56,64
G Test 2006	0,315346	0,287577	0,372722	0,025423	0,908681	0,036324	0,032315	0,179764	1,23	1,84	57,01
G Test 2010	0,319100	0,280993	Amodal	0,027072	0,931644	0,039210	0,036645	0,191428	1,18	1,59	59,99
G 20% 2001	0,267029	0,234519	0,000000	0,028319	0,976921	0,000000	0,040098	0,200246	1,37	2,87	74,99
G 20% 2006	0,250145	0,207751	0,000000	0,025243	0,884613	0,000000	0,031860	0,178494	1,26	2,16	71,36
G 20% 2010	0,274409	0,230074	Amodal	0,027040	0,998072	0,000000	0,036559	0,191203	1,43	3,21	69,68
G 40% 2001	0,283889	0,264686	Amodal	0,026061	0,845733	0,030294	0,033957	0,184276	1,13	1,45	64,91
G 40% 2006	0,204715	0,195396	Amodal	0,022937	0,804579	0,000000	0,026306	0,162190	1,41	2,85	79,23
G 40% 2010	0,222381	0,186249	Amodal	0,024237	0,881182	0,000000	0,029372	0,171382	1,61	3,56	77,07
G 60% 2001	0,225142	0,181764	Amodal	0,019720	0,616335	0,000000	0,019444	0,139442	0,85	0,42	61,94
G 60% 2006	0,111606	0,072744	0,000000	0,016847	0,497359	0,000000	0,014191	0,119125	1,64	2,42	106,74
G 60% 2010	0,122395	0,089066	0,000000	0,017427	0,555988	0,000000	0,015185	0,123228	1,95	4,08	100,68
V Test 2001	1,5163	1,2369	Amodal	0,1723	6,3979	0,1589	1,4847	0,1723	2,40	6,97	80,36
V Test 2006	1,6366	1,3001	Amodal	0,1840	6,9080	0,1722	1,6927	1,3010	2,41	6,92	79,50
V Test 2010	1,6893	1,3527	Amodal	0,1958	7,3153	0,1660	1,9168	1,3845	2,35	6,68	81,96
V 20% 2001	1,4200	1,2292	0,0000	0,1666	5,2406	0,0000	1,3879	1,1781	1,43	2,39	82,96
V 20% 2006	1,3677	1,0499	0,0000	0,1570	4,5111	0,0000	1,2329	1,1104	1,27	1,24	81,18
V 20% 2010	1,4950	1,1603	Amodal	0,1685	5,0938	0,0000	1,4200	1,1916	1,28	1,49	79,71
V 40% 2001	1,6268	1,4129	Amodal	0,1797	6,2874	0,1184	1,6143	1,2706	1,70	3,60	78,10
V 40% 2006	1,1847	0,9875	Amodal	0,1565	5,5817	0,0000	1,2249	1,1068	1,83	4,32	93,42
V 40% 2010	1,3023	0,9604	Amodal	0,1709	6,1630	0,0000	1,4596	1,2081	1,91	4,56	92,77
V 60% 2001	1,3156	1,1740	Amodal	0,1284	3,8752	0,0000	0,8244	0,9080	0,91	0,26	69,02
V 60% 2006	0,7096	0,3916	0,0000	0,1253	3,6279	0,0000	0,7852	0,8861	2,83	1,79	124,88
V 60% 2010	0,7479	0,3884	0,3884	0,1323	4,1991	0,0000	0,8749	0,9354	2,11	4,49	125,07

Legenda: CV – Coeficiente de variação (%); G – área basal mensurada na subunidade (m²); V – volume comercial mensurado na subunidade (m³); Test – tratamento testemunha.
Legend: CV – coefficient of variation (%); G – basal area measured in the subunit (m²); V – commercial volume measured in the subunit (m³); Test – control treatment.

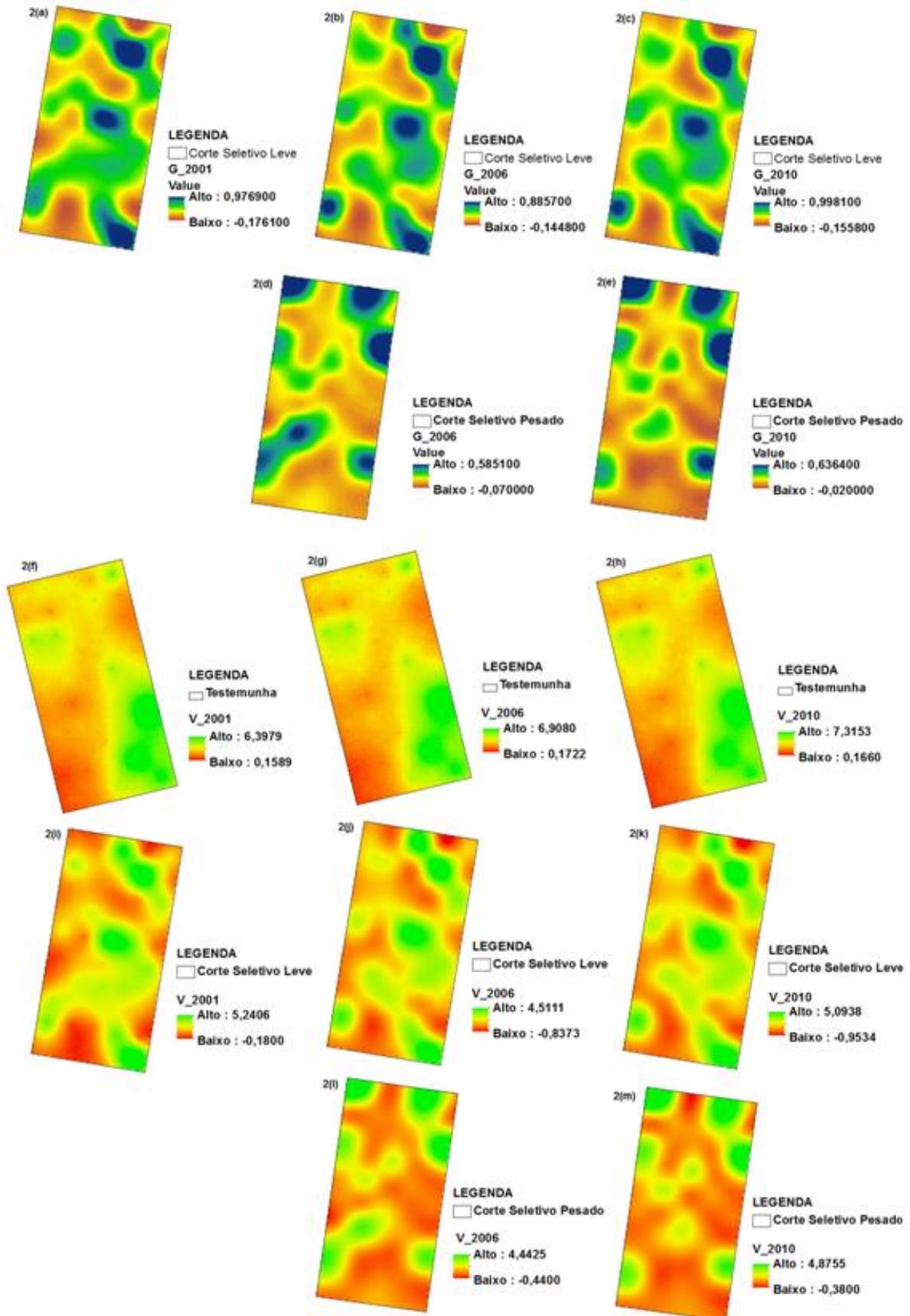


Figura 2. Variabilidade da área basal (G) e volume comercial (V) nos tratamentos empregados em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS (Apêndices).

Figure 2. Variability of basal area (G) and commercial volume (V) in the treatments employed in MOF in the Tupi Farm, Nova Prata, RS.

Tabela 2. Parâmetros semivariográficos para área basal e volume comercial obtidos nas avaliações realizadas para os diferentes cortes seletivos empregados em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

Table 2. Semivariographic parameters for basal area and commercial volume obtained in the evaluations for the different selective harvesting employed in FOM in the Tupi Farm, Nova Prata, RS.

Variável	Modelo	Co	Co+C	C	A	R ²	SQR	C/(Co+C)	DE
G 20% 2001	Gaussiano	0,000100	0,039300	0,039200	15,03	0,62	7,27E-05	0,9975	Forte
G 20% 2006	Gaussiano	0,000010	0,031520	0,031510	15,41	0,55	7,99E-05	0,9999	Forte
G 20% 2010	Gaussiano	0,000100	0,036300	0,036200	16,02	0,52	1,58E-04	0,9970	Forte
G 60% 2006	Gaussiano	0,000010	0,013920	0,013910	24,82	0,65	4,24E-05	0,9999	Forte
G 60% 2010	Gaussiano	0,000010	0,012620	0,012610	21,36	0,65	2,76E-05	0,9999	Forte
V Test 2001	Exponencial	0,834000	1,730000	0,896000	78,60	0,73	0,0732	0,5180	Moderada
V Test 2006	Exponencial	0,991000	1,983000	0,992000	83,40	0,72	0,0908	0,5000	Moderada
V Test 2010	Exponencial	1,101000	2,203000	1,102000	75,60	0,76	0,0897	0,7600	Forte
V 20% 2001	Esférico	0,001000	1,341000	1,340000	16,07	0,97	1,59E-03	0,9999	Forte
V 20% 2006	Gaussiano	0,001000	1,215000	1,214000	14,58	0,83	0,0158	0,9999	Forte
V 20% 2010	Gaussiano	0,001000	1,411000	1,410000	15,26	0,77	0,0442	0,9999	Forte
V 60% 2006	Gaussiano	0,001000	0,719000	0,718000	23,68	0,61	0,1380	0,9999	Forte
V 60% 2010	Gaussiano	0,001000	0,714000	0,713000	21,96	0,59	0,1300	0,9999	Forte

Legenda: G – área basal mensurada na subunidade (m²); V – volume comercial mensurado na subunidade (m³); Co – efeito pepita; A – alcance (m); R² – coeficiente de determinação; SQR – soma dos quadrados dos resíduos; C/(C+Co) – grau de dependência espacial; DE – classe de dependência Espacial.

Legend: G – basal area measured in the subunit (m²); V – commercial volume measured in the subunit (m³); Co – nugget effect; A – alcance (m); R² – coefficient of determination; SQR – sum of squared residuals; C/(C+Co) – spatial dependence; DE – class of spatial dependence.

4 Discussões

A área basal (G) e o volume comercial (V) apresentaram baixa variância (Tabela 1), mas mesmo assim foram encontradas dificuldades de ajustes semivariográficos, tanto na parcela testemunha como nas parcelas dos tratamentos com aplicação de cortes seletivos. O modelo gaussiano foi o mais observado no ajuste destas variáveis, exceto para volume na parcela testemunha. Já nos cortes seletivos, em alguns casos foi observado efeito pepita puro, destacando-se o fato da parcela do corte seletivo médio ter apresentado esse comportamento para G e V em todas as mensurações realizadas, e a testemunha no primeiro inventário.

Longhi (2011) relata o fato da floresta na Fazenda Tupi ter sido explorada comercialmente entre as décadas de 1970 e 1980, o que ainda pode estar influenciando o comportamento da floresta. Amaral (2010) descreve situação semelhante para uma FOM em General Carneiro-PR de 1153 ha, contendo 45 unidades amostrais de 500 m², onde obteve ajuste semivariográfico satisfatório para G (m² ua⁻¹), utilizando também o modelo gaussiano, com poucos pareamentos na região ascendente da curva de ajuste. Porém, esta situação impediu o autor de

realizar estimativas por krigagem ordinária pontual, por apresentar resultado insatisfatório na validação cruzada. A autor sugere que a condição de floresta alterada influenciou este resultado, sendo também uma provável causa para não se obter ajuste para as variáveis na parcela testemunha em 2001.

Aparentemente o tamanho das parcelas (0,5 ha) e a configuração espacial de cada amostra (subunidades), foi um limitante para a metodologia proposta, pois restringiu o número de observações (50), bem como o tamanho do lag (fracionamento da distância de análise) e o número de pareamentos de observações em cada lag, resultando em semivariogramas com pequeno número de pareamentos na região ascendente da curva de ajuste (região com estruturação espacial) ou impedindo a sua formação. Isso também pode ter sido a causa de se ter observado o modelo gaussiano na maioria das situações avaliadas. Provavelmente, ocorra pelo fato dos valores de efeito pepita e patamar serem zero e um, para os modelos teóricos utilizados, mas quando ajustados ao semivariograma experimental, esse valores são alterados, em função da distância, definindo o alcance, distância em que há estruturação espacial da variável em análise. O modelo gaussiano é o que apresenta o menor alcance, sendo corresponde a 95% da altura do patamar – alcance prático, caracterizado por um comportamento parabólico próximo à origem (CAMARGO, 2001; BETTINI, 2007). Pode-se observar, na Tabela 2, que os semivariogramas das variáveis que apresentaram alcance superiores não foram ajustados como o modelo gaussiano. Amaral (2010) também obteve comportamento semelhante, onde as variáveis que apresentaram menor alcance foram ajustadas com o mesmo modelo.

No entanto, Amaral et al. (2012) obtiveram ajuste semivariográfico satisfatório para área basal ($m^2 ha^{-1}$), utilizando o modelo esférico, em uma parcela permanente semelhante a utilizada neste trabalho (área, dimensões e subdivisões), numa FOM em Castro-PR. Os autores obtiveram uma curva de ajuste contendo uma região ascendente evidente, apresentando inúmeros pareamentos, observando uma moderada dependência espacial (56%), mas tendo dados espacialmente estruturados a até 68,30 metros de distância (alcance). Esta extrapolação das variáveis, obtidas na área das subunidades para o hectare, também foi aplicada aos dados aqui avaliados, no entanto alteraram apenas os valores absolutos dos parâmetros semivariográficos, mas não o comportamento da curva de ajuste. Isto

sugere então, que pode também ter ocorrido uma interação entre a espacialização das subunidades e o comportamento da floresta, manifestado em G e V.

No tratamento testemunha, não houve interferência na floresta, de forma que houveram baixos incrementos em área basal e volume comercial, pois em 2001 os valores totais de G e V desta parcela eram de 14,9061 m² e 75,8153 m³, e em 2010, 15,9550 m² e 84,4635 m³, respectivamente. Este tratamento apresentou ajuste semivariográfico satisfatório apenas para o volume comercial, apresentando um maior número de pareamentos na região ascendente da linha de ajuste, e superfícies simuladas sem grande mudanças de comportamento, em relação aos demais tratamentos (Figura 2). Segundo Longhi (2011), houve um descréscimo de 47 indivíduos nesta parcela, uma vez que a mesma está com superestoque e elevada concorrência, o que causa a morte dos indivíduos dos estratos inferiores. Isso poderia explicar o fato de se ter observado dependência espacial somente para o volume comercial, por ser uma variável dimensionada de maneira diferente da área basal, levando em consideração não só o crescimento da secção transversal, mas também em altura dos indivíduos, onde ainda há espaço para ser ocupado. Já neste caso, a área basal tende a não incluir variabilidade, quando relacionada a direção e distância, provavelmente por dois motivos, a não inclusão de árvores pequenas, devido a mensuração de DAP \geq 30 cm, e mortalidade de indivíduos de pequeno porte.

No tratamento corte seletivo leve, a floresta já repôs a área basal e o volume de madeira retirados em 2002, pois em 2010 ela continha em G e V, 13,7250 m² e 74,7492 m³ respectivamente, valores superiores aos observados em 2001, anteriores a intervenção na parcela (13,3514 m² e 71,0017 m³). Comparando, de forma visual, a distribuição espacial das variáveis nas simulações obtidas, é possível observar que a floresta fez esta reposição, e que o comportamento não alterou-se significativamente ao longo do tempo, mantendo o comportamento das estruturas espaciais que já existiam antes da intervenção experimental, de forma similar a floresta testemunha, porém com maior produção e incremento de madeira. Segundo Longhi (2011), neste tratamento houve reposição da área basal e volume comercial da madeira existente antes da intervenção em aproximadamente oito anos.

Já nos tratamentos corte seletivo médio e pesado, isso ainda não ocorreu, pois a retirada de madeira foi muito intensa, sendo que os valores iniciais de G e V, 14,1944 m² e 81,3401 m³ para o primeiro, e 11,2571 m² e 65,7777 m³ para o

segundo tratamento, ainda não haviam sido repostos em 2010, 11,1190 m² e 65,1149 m³ para o corte seletivo médio, e 6,1197 m² e 37,3925 m³ para o corte seletivo pesado.

No corte seletivo médio, a análise geoestatística apontou um comportamento aleatório para G e V (efeito pepita puro), antes mesmo da intervenção experimental. Com a retirada seletiva de madeira, essa aleatoriedade foi intensificada, o que justifica os resultados observados nos semivariogramas. Como a floresta ainda não repôs a área basal e volume retirados, a tendência de aleatoriedade nos dados se manteve, pois os espaços ainda não foram amplamente ocupados pelas árvores.

Para o corte seletivo pesado, as simulações obtidas sugerem que a reposição esta sendo realizada nos locais que eram pontos de baixos valores de G e V, devido ao ingresso de indivíduos e ao incremento das árvores remanescentes. Já nos pontos outrora de alta, houve grande retirada de madeira, comprometendo a estrutura da vegetação dentro da parcela, o que ocasionou a morte de muitas árvores remanescentes. Estes pontos estão deixando de ser locais de altos valores de área basal e volume comercial na nova estrutura da floresta (Figura 2d e 2e; 2l e 2m). Longhi (2011) apontou este problema, relatando dificuldade de recuperação da distribuição diamétrica da área basal neste tratamento, e a presença de um elevado número de indivíduos caídos, devido a ação de eventos climáticos de grande magnitude (ventos e tempestades) aliado a desestruturação da floresta causada pela grande retirada de árvores. Amaral (2010) também relatou a influência dos eventos climáticos sobre uma FOM, em General Carneiro-PR, intensificando o regime de distúrbio na floresta em questão e influenciando o resultado da análise geoestatística realizada para variáveis como a área basal. Estas condições, podem explicar, as mudanças observadas, ao longo do tempo, nas superfícies simuladas para o tratamento corte seletivo pesado. Segundo Longhi (2011) o corte seletivo pesado apresentou uma taxa de recrutamento de 4,90%, o que corresponde a 79 indivíduos por hectare, algo em torno de 40 indivíduos para o tamanho de unidade amostral utilizada neste trabalho.

Foi possível observar que houveram diferenças de comportamento nos semivariogramas e, de maneira mais pronunciada, nas superfícies simuladas em função dos tratamento aplicados à floresta nas parcelas em questão. De modo geral, a floresta não alterada (testemunha) não apresentou comportamento espacial mais

evidente em relação a floresta submetida aos diferentes cortes seletivos, onde nestes últimos esperava-se encontrar menor grau de dependência espacial.

Mesmo no corte seletivo leve, que em relação aos demais, recebeu intervenções com menor severidade, e onde aparentemente, a floresta apresentava indícios de ser mais estruturada em 2001, foram perceptíveis as dificuldades de ajustes nos semivariogramas. As superfícies simuladas, de G e V deste tratamento, apresentaram tendências que variaram ao longo do tempo e do espaço, diferentemente daquelas obtidas para o volume, na parcela testemunha, que praticamente foi invariante no tempo e no espaço.

5 Conclusões

A geoestatística mostrou-se sensível as mudanças na floresta, detectadas na área basal e no volume comercial, em parcelas tratadas com diferentes intensidades de cortes seletivos (redução de 0, 20, 40 e 60% da área basal em todas as classes de diâmetro). Desta forma, a hipótese que norteou este trabalho pode ser aceita. A sensibilidade foi mais perceptível nas superfícies simuladas e menos nos semivariogramas.

Apesar de não ter sofrido cortes seletivos, a parcela testemunha foi a que apresentou os menores incrementos em G e V, por não ser manejada, e também não apresentou estrutura espacial mais evidente que as demais parcelas. Quando considerados apenas os cortes seletivos, o corte leve produziu poucas mudanças na estrutura da floresta, mediante a reposição da madeira retirada no intervalo de oito anos, sendo mais facilmente perceptível nas superfícies simuladas para G e V, pois todos os tratamentos, inclusive a testemunha, apresentaram dificuldades de ajustes semivariográficos. Possivelmente a interação entre a condição da floresta, histórico e/ou intervenção experimental, ocorrentes em cada parcela, somados a configuração espacial das subunidades, tenham causado este comportamento.

Em 2010, os cortes seletivos médio e pesado ainda não tinham repostos área basal e volume observados em 2001. O primeiro, intensificou a condição anterior da floresta, apresentando efeito pepita puro. Já o segundo alterou por demais as estruturas da floresta, sendo observado uma expansão das zonas de baixos valores de G e V sobre as zonas outrora de alta.

O tratamento corte seletivo leve é o mais indicado para ser empregado no manejo florestal de FOM, pois foi o que gerou as menores mudanças nas estruturas

espaciais da floresta, e permitiu que houvesse produção de madeira, mediante intervenção experimental, devido a reposição de G e V, o que não ocorreu para as parcelas submetidas aos demais cortes seletivos. Já na parcela testemunha não foram observadas melhores condições de estruturação espacial, porém no período de análise, apresentou os menores incrementos em V e G.

Ressalta-se também a necessidade da realização de mais estudos, relacionando o manejo florestal e a análise espacial, por meio do emprego da geoestatística, mediante a criação de novos projetos, considerando também outras formações florestais.

Referências Bibliográficas

ABREU, M.V.S. et al. Proposta metodológica para o cálculo e análise espacial do IDH intraurbano de Viçosa-MG. **Revista Brasileira de Estudos da População**, v.28, n.1, p.169-186, 2011.

AKHAVAN,R.; KIA-DALIRI, H. Spatial variability and estimation of tree attributes in a plantation forest in the Caspian region of Iran using geostatistical analysis. **Caspian Journal Environmental Science**, v.8, n.2, p.163-172, 2010.

AKHAVAN, R.; ZAHEDI AMIRI, Gh.; ZOBELI, M. Spatial variability of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v.8, p.43-53, 2010.

ALVARENGA, L.H.V. et al. Desempenho da estratificação em um fragmento de Cerrado Stricto Sensu utilizando interpolador geoestatístico. **Cerne**, v.18, n.4, p.675-681, 2012.

AMARAL, L.P. **Geoestatística na caracterização do solo e da vegetação em Floresta Ombrófila Mista**. 2010. 133p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.

AMARAL, L.P. et al. Variabilidade espacial da área basal numa parcela permanente na Floresta Ombrófila Mista. In: SEMANA DA GEOMÁTICA, 4., 2012, Santa Maria. **Anais da ...**. Santa Maria: Colégio Politécnico da UFSM, 2012, p.10-17.

AMARAL, L.P. et al. Influência da floresta alterada na distribuição espacial de três espécies da Floresta Ombrófila Mista avaliada pela Geoestatística. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.3, p. 491-501, 2013a.

AMARAL, L.P. et al. Uso de geoestatística no estudo do Índice de Diversidade de Shannon-Wiener em Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.42, n.97, p.83-93, 2013b.

BIONDI, F.; MYERS, D.E.; AVERY, C.C. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v.24, n.7, p.1354-1368, 1994.

BETTINI, C. **Conceitos básicos de geoestatística**. IN: MEIRELLES, M.S.P. et al. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Embrapa: Brasília, 2007, 593p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Inventário Florestal Nacional: Florestas Nativas do Rio Grande do Sul**. Brasília: Edit. Gráfica Brasileira Ltda., FATEC, 1983. 345p.

CALLEGARO, R.M. **Variações florísticas e estruturais de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana em Nova Prata-RS**. 2012, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CAMARGO, E.C.G. **Geoestatística: Fundamentos e aplicações**. INPE: São José dos Campos, 2001. Disponível: < http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em 25 de jan. de 2014.

DALE, M.R.T. **Spatial pattern analysis in plant ecology**. Cambridge: Cambridge University press, 2000, p.326.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Atlas climático da região sul do Brasil**. Embrapa Clima Temperado/Embrapa Florestas, Pelotas/Colombo, Brasil, 2011.

FIGUEIREDO, E.O. et al. **Processamento primário dos dados e elaboração do mapa de exploração**. IN: FIGUEIREDO, E.O.; BRAZ, M.; d'OLIVEIRA, M.V.N. Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco: EMBRAPA, 2007, 183p.

HERMANN, M.L.P.; ROSA, R.O. **Relevo**. In: IBGE. Geografia do Brasil - Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 55-111.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 275p.

JOURNEL, A.G. Geostatistics for conditional simulation of are bodies. **Economic Geology**, v.69, n.5, p.673-687, 1974.

KINT, V. et al. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest neighbor **indices** and variogram analysis. **Forest Science**, v.49, n.1, p.36-49, 2003.

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**, v.7, n.13, p.727-745, 2011.

LONGHI, R.V. **Manejo experimental de uma Floresta Ombrófila Mista secundária no Rio Grande do Sul**. 82p. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

MELLO, J.M. et al. Uso do estimador geoestatístico para predição volumétrica por talhão. **Floresta**, Curitiba, v.36, n.2, p.55-62, 2006.

MONTEIRO, R.C. **Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do sistema aquífero guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil.** 2003. 233 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Geológica) – Universidade Estadual Paulista Júlio de mesquita Filho, Rio Claro, 2003.

MOSCOVICH, F.A. **Dinâmica de crescimento de uma Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS.** 2006, 135f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PELLISSARI, A.L. **Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Tectona grandis* L.f. na região sul do Estado de Mato Grosso.** 2012, 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

SANRA, J.S.; GILL, H.S.; BHATIA, V.K. Spatial stochastic modeling of growth and forest resource evaluation. **Forest Science**, v.35, n.3, p.663-676, 1989.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. **Manejo sustentado de florestas inequiâneas heterogêneas.** UFSM, Santa Maria, 2000, 195p.

SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente.** 2 ed., Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006, 214p.

SCOLFORO, J.R.S. **Manejo Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 443p.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008, 222p.

YAMAMOTO J.K. Correcting the smoothing effect of ordinary kriging estimates. **Mathematical Geology**, v.37, n.1, p.69-94, 2005.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: Conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 215p.

DISCUSSÃO

As áreas de Floresta Ombrófila Mista analisadas neste trabalho apresentaram dependência espacial para as variáveis número de indivíduos, área basal, volume, biomassa e carbono, coincidindo com o descrito por Dale (2000) e Soares (2006), sendo também descrito em áreas de FOM no Paraná (AMARAL, 2010; AMARAL et al., 2010; AMARAL et al., 2012; AMARAL et al., 2013b,c; LISBOA, 2013). No caso do experimento de manejo florestal realizado na Fazenda Tupi, o comportamento geral foi semelhante ao observado por (AMARAL, 2010; AMARAL et al., 2013c), ou seja, a condição de floresta alterada influenciou os resultados obtidos, mediante quebra das estruturas espaciais da floresta. Houve também neste estudo, influência da configuração espacial da amostra. Estes trabalhos, em conjunto, mostram que as florestas nativas podem apresentar dependência espacial, podendo então ser estudadas e avaliadas pela geoestatística, e que áreas manejadas podem alterar significativamente as estruturas espaciais das florestas, dependendo da intensidade de retirada de madeira, sendo a geoestatística sensível à estas condições.

O primeiro trabalho apresentou resultados similares aos obtidos por outros autores ao estratificarem algumas formações vegetais utilizando geoestatística (FIGUEIREDO et al., 2007; ALVARENGA et al., 2012). Porém, os mesmos utilizaram apenas a variável volume, por ser uma das mais utilizadas para caracterizar a produção florestal. No presente trabalho foram utilizadas quatro variáveis relacionadas à produção florestal (área basal, volume, biomassa e carbono), empregando então mais critérios para determinar as zonas de produção com maior segurança.

Área basal e volume são variáveis importantes e a muito tempo são relacionadas à produção florestal. A área basal é uma variável importante, pois é uma medida de densidade da floresta, sendo diretamente relacionada como o volume por hectare. Refere-se ao grau de ocupação do terreno pelos fustes das árvores. Já o volume da floresta, é a na maioria das vezes, o principal objetivo dos levantamentos florestais, principalmente aqueles com fins comerciais (FINGER, 1992; MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006). Já a biomassa, até algum tempo não tinha a visibilidade e utilização que se observa atualmente, devido ao aumento de pesquisas sobre fixação e neutralização das emissões de carbono (serviços

ambientais), e também pelo fato dos estoques de madeira serem controlados, até pouco tempo atrás, por volumetria (volume estéreo e/ou cúbico). No entanto, para o manejo da floresta, estimativas precisas de biomassa, bem como sua distribuição espacial, são importantes, pois reduzem a incerteza nas estimativas de emissões de carbono, devido ao desmatamento e degradação das florestas, associadas a cortes seletivos e a utilização do fogo (HOUGHTON, 2005). Desta forma, combinações de variáveis descritoras das florestas, relativas a sua produção, estado e biodiversidade, podem levar a uma melhor caracterização das zonas de produção ou de manejo.

Já o segundo trabalho mostrou que, o corte seletivo pesado causou grandes mudança na floresta, deixando as árvores remanescentes expostas a ação de eventos externos de grande magnitude e à outros fatores que as pudessem levar à morte, de maneira selhante a descrita por Schneider (2008), devido a maior abertura de dossel e espaços na floresta. Whitmore (1990) relatou a desestruturação da floresta mediante a saída de árvores do sistema, causando descontinuidades no dossel, e conforme Jardim et al. (2007), o tamanho dessas aberturas condiciona a composição florística e a distribuição das espécies. Ao empregar análise geoestatística nestas condições é de se esperar que não seja observada dependência espacial para certas variáveis, pois haverão muito espaços não ocupados por árvores na floresta.

O fato de termos encontrado dependência espacial no corte seletivo pesado, pode ser devido ao tempo que se tem entre a intervenção (2002) e o 1º inventário de monitoramento (2006), onde a floresta iniciou a reposição de área basal e volume comercial, porém com outra configuração espacial, o que levou a uma estrutura diferente daquela observada em 2001, no inventário pré-exploratório, onde não foi observado dependência espacial para G e V. Já para os tratamento testemunha, quanto a área basal, para o corte seletivo médio, em todas as épocas de mensuração para G e V, e também para ambas as variáveis, mensuradas em 2001 no corte seletivo pesado, o histórico anterior da floresta pode ter influenciado os resultados observados.

Aparentemente houve influência da configuração espacial das subunidades nas parcelas avaliadas. A pequena área da parcela limita a distância de análise no semivariograma, e o tamanho do lag (fracionamento da distância de análise), influenciando o número de pareamentos de dados. Devido ao pequeno tamanho da

área, pode ter ocorrido um baixo incremento de variabilidade aos dados, por haver uma certa homogeneidade na floresta dentro das parcelas, o que poderia ser diferente em áreas maiores, pois abrangeriam outras condições de sítio, podendo gerar um maior incremento na variabilidade dos dados.

O histórico da floresta parece ser o ponto comum entre os dois estudos realizados neste trabalho, pois esteve presente em ambos. No primeiro, área basal e volume não apresentaram ajustes semivariográficos satisfatórios, porém ambos apresentaram algum grau de dependência espacial, tendo que ser ajustados por semivariogramas cruzados, no procedimento de co-krigagem, utilizando a variável número de indivíduos. No segundo estudo, a área basal na parcela testemunha, G e V em 2001, antes da aplicação do corte seletivo pesado, e a parcela do corte seletivo médio, para ambas as variáveis em todas as épocas de mensuração, apresentaram efeito pepita puro, mostrando estarem sob forte influência do histórico da floresta. Longhi (2011) cita que esta área passou por intensiva exploração madeireira entre as décadas de 1970 até meados de 1980.

Akhavan et al. (2010) se depararam com esta situação em florestas na região do Mar Cáspio, Iran, e não obtiveram um resultado expressivo no uso de geoestatística para estimar área basal, volume e densidade de indivíduos. Os autores apontam a influência da intensidade amostral, do grande espaçamento entre os pontos amostrais, da variabilidade de pequena escala e dos erros de estimativas decorrentes da não descrição do comportamento aleatório da floresta, entre outros fatores, mas não consideram o histórico de degradação da floresta como fator de influência nas análises realizadas.

Estes autores citam que, para estas variáveis, estimativas baseadas em correlação espacial não são eficientes em florestas manejadas, e indicam o uso de geoestatística para florestas nativas não-manejadas e plantações florestais, corroborando com GUNNARSON et al., (1998) e TUOMINEN et al., (2003). Porém, isso nem sempre é verdadeiro, pois diversos trabalhos obtiveram resultados satisfatórios em florestas nativas, já manejadas e/ou alteradas, para área basal (Nunes et al., 2011; Amaral et al., 2012), volume (Figueiredo et al., 2007; Alvarenga et al., 2012), e número de indivíduos (Nunes et al., 2011; Amaral et al., 2013a). Estes trabalhos sugerem que a condição e/ou estado da floresta é preponderante no processo de análise espacial, pois permitirá ou não, o incremento de variabilidade e

aleatoriedade ao longo do espaço, influenciando a correlação da variância com a distância e direção da análise, preceitos essenciais da geoestatística.

Desta forma, a dependência espacial, avaliada pela geoestatística, deve ser considerada quando se pretende conhecer e planejar o manejo de uma floresta ou de outras formas de vegetação, pois dependendo de suas características, a estruturação espaço-temporal ocorrerá de forma natural, podendo ser quebrada por ações antrópicas. Assim, as considerações de Husch et al., (1982) tornam-se ainda mais importantes, onde os autores consideram que, o mapeamento e estimativas dos recursos florestais são de extrema importância para o seu planejamento, gestão e pesquisa, estando estes preceitos fortemente inseridos no presente trabalho.

CONCLUSÃO

As hipóteses que nortearam este trabalho foram aceitas, de modo que geoestatística pode ser utilizada em estudos sobre florestas nativas, seja na caracterização e/ou no manejo florestal, pois as mesmas apresentam estruturação espacial, quando não encontram-se sob regime de distúrbios decorrentes de impactos de grande magnitude. O resultado pode ser considerado satisfatório, mesmo quando esta situação é detectada, pois mostra o comportamento aleatório da floresta onde esperava-se observar estrutura espacial, indicando que pode existir algum problema na mesma.

Foi possível determinar zonas de produção, utilizando geoestatística e ferramentas de geoprocessamento, combinando variáveis relacionadas à produção florestal (área basal, volume, biomassa e carbono) por meio de álgebra de mapas em sistema de informações geográficas, que resultou em um zoneamento satisfatório, pois foi capaz de delimitar regiões onde a produção de *Araucaria angustifolia* apresentou-se diferenciada, no Parque das Araucárias Janaína Orth, em Tapera-RS.

A geoestatística foi sensível ao manejo florestal experimental empregado em parcelas de FOM na Fazenda Tupi, em Nova Prata-RS. As mudanças ocorridas na floresta foram detectadas pelo semivariograma e mostradas pelas superfícies simuladas, trabalhando com as variáveis área basal e volume comercial. Alterações na floresta causaram descontinuidades espaciais, o que dificulta o ajuste de semivariogramas, e geram mudanças no comportamento descrito nas superfícies simuladas. O histórico da floresta também influencia neste tipo de análise, principalmente quando a floresta não se recupera totalmente dos impactos sofridos, bem como a configuração espacial da amostra, que restringe a distância de análise, tamanho do lag (fracionamento da distância de análise) e pareamento de dados no semivariograma.

Há necessidade de delinear experimento de manejo florestal específicos para abordagem geoestatística, pela dificuldade de se adaptar projetos delineados sem considerar esta concepção. Novos projetos e áreas experimentais precisam ser criados, pois esta abordagem passará a ter diversas aplicações no manejo florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKHAVAN, R.; ZAHEDI AMIRI, Gh.; ZOBEIRI, M. Spatial variability of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v. 8, p. 43-53, 2010.

ALVARENGA, L. H. V. et al. Desempenho da estratificação em um fragmento de Cerrado Stricto Sensu utilizando interpolador geoestatístico. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 675-681, 2012.

AMARAL, L. P. **Geoestatística na caracterização do solo e da vegetação em Floresta Ombrófila Mista**. 2010. 133p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010.

AMARAL, L. P. et al. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 6, Edição especial, p. 103-114, 2010.

AMARAL, L. P. et al. Dependência espacial de diferentes alturas das árvores em um fragmento de floresta secundária na região do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE MANEJO FLORESTAL, 5., 2011, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2011. p. 365-373.

AMARAL, L.P. et al. Variabilidade espacial da área basal numa parcela permanente na Floresta Ombrófila Mista. In: SEMANA DA GEOMÁTICA, 4., 2012, Santa Maria. **Anais....** Santa Maria: Colégio Politécnico da UFSM, 2012, p. 10-17.

AMARAL, L. P. et al. Geoestatística aplicada a caracterização de florestas nativas. In: CONGRESO FORESTAL ARGENTINO Y LATINOAMERICANO, 4., 2013, Puerto Iguazú. **Anais....** Puerto Iguazú: AFoA, 2013a, p. 1-10.

AMARAL, L. P. et al. Uso de geoestatística no estudo do Índice de Diversidade de Shannon-Wiener em Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 97, p. 83-93, 2013b.

AMARAL, L. P. et al. Influência da floresta alterada na distribuição espacial de três espécies da Floresta Ombrófila Mista avaliada pela Geoestatística. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 491-501, 2013c.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003. 165p.

ASSIS, A. L. et al. Development of a sampling strategy for young stands of Eucalyptus sp. Using geostatistics. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 166-173, 2009.

AUBRY, P.; DEBOUZIE, D. Geostatistical estimation variance for the spatial mean in two-dimensional systematic sampling. **Ecology**, Tempe, v. 81, n. 2, p. 543-553, 2000.

AUBRY, P.; DEBOUZIE, D. Estimation of the mean from a two-dimensional sample: The geostatistical model-based approach. **Ecology**, Tempe, v. 82, n. 5, p. 1484-1494, 2001.

BETTINI, C. **Conceitos básicos de geoestatística**. In: MEIRELLES, M. S. P. et al. *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Embrapa: Brasília, 2007, 593p.

BIONDI, F.; MYERS, D. E.; AVERY, C. C. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Canadian Journal Forest Resourch**, v. 24, p. 1354-1368, 1994.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: Fundamentos e aplicações**. INPE: São José dos Campos, 2001. Disponível: < http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em 25 de jan. de 2014.

CALLEGARO, R. M. **Variações florísticas e estruturais de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana em Nova Prata-RS**. 2012, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo: Embrapa Florestas, 1994, 640p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039p.

CEZARE, C. H. G. ; FERREIRA, N. C. Interpolador geoestatístico como ferramenta de predição da vegetação nativa em áreas antropizadas no bioma Cerrado em Goiás e no Distrito Federal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 63., 2011, Goiania. **Anais...** Goiania: SBPC, 2011. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/mestrado/trabalhos-mestrado/mestrado-cassio-henrique.pdf>>. Acesso em 24 de maio de 2013.

DORMANN, C. F. Effects of incorporating spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data. **Global Ecology and biogeography**, v. 16, p. 129-138, 2007.

FIGUEIREDO, E. O. et al. **Processamento primário dos dados e elaboração do mapa de exploração**. In: FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, M.; d'OLIVEIRA, M. V. N. Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco: EMBRAPA, 2007, 183p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 269p. 1992.

GOMES, N. M. et al. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade de atributos físicos-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 435-443, 2007.

GOSLEE, S. C. Behavior of vegetation sampling methods in presence of spatial autocorrelation. **Plant Ecology**, n. 187, p. 203-212, 2006.

GUEDES, I. C. L. et al.. Técnicas Geoestatísticas e Interpoladores espaciais na estratificação de povoamento de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 541-550, 2012.

GUNNARSON, F. et al. On the potential of kriging for forest management planning. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 13, p. 237-245, 1998.

HESS, A.F.; SCHNEIDER, P.R. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 107-122, 2010.

HOUGHTON, R.A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**, v.11, p.945-958, 2005.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3. ed., New York: John Wiley and Sons, 1982, 443p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press: 600 p. 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 275p.

JARDIM, F. C. S.; SERRÃO, D. R.; NEMER, T. C. Efeito de diferentes tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas, em Mojú-PA. **Acta Amazonica**, v. 37, p. 37-48, 2007.

KANEGE JUNIOR, H. et al. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 123-136, 2006.

KANEGE JUNIOR, H. et al. Avaliação da continuidade espacial de características dendrométricas em diferentes idades de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 859-866, 2007.

KLEIN, W. L. et al. Altura do ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae*) nos manejos convencional e de precisão, analisada pela geoestatística. **Ciência Florestal**, v. 17, p. 299-309, 2007.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. Edição, São Paulo: Editora Unesp, 2003. 253p.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Sampling and spatial variability of chemical attributes of a soil under regenerating natural vegetation. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 127-136, 2010.

LISBOA, G. S. et al. Distribuição espacial da diversidade das espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, Irati, Paraná. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2013, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA-UNESP, 2013. 6p.

LONGHI, R. V. **Manejo experimental de uma Floresta Ombrófila Mista secundária no Rio Grande do Sul**. 82p. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

LONGHI, S.J. et al. Fatores ecológicos determinantes na ocorrência de *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*, na Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 40, p. 57-63, 2010.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2006, 316p.

MATHERON, G. La theorie des variables regionalisées et ses applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 5, Thome 1, 1970.

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

MELLO, J. M. et al. Uso do estimador geoestatístico para predição volumétrica por talhão. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 55-62, 2006.

MELLO, J. M. et al. Métodos de amostragem e geoestatística para estimativa do número de fustes e volume em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 157-166, 2009.

MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R. Análise comparativa de procedimentos de amostragem em um remanescente de floresta estacional semidecídua montana. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 55-62, 2000.

MOSCOVICH, F. A. **Dinâmica de crescimento de uma Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS**. 2006, 135f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

NANOS, N.; MONTERO, G. Spatial prediction of diameter distribution models. **Forest Ecology Management**, v. 161, p. 147-158, 2002.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 105-119, 2001.

NEVES, D. A. et al. Using geostatistics for assessing biodiversity of forest reserve areas. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 131-140, 2010.

NUNES, M. H. et al. Continuidade espacial de característica dendrométricas em uma área de cerrado no norte de Goiás. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE MANEJO FLORESTAL, 5., 2011, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2011. p. 171-178.

ODA-SOUZA, M. et al. Comparação das estruturas de continuidade espacial em quatro formações florestais do estado de São Paulo. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 515-522, 2010.

ORTIZ, J. O. et al. Modelagem de fertilidade do solo por simulação estocástica com tratamento de incertezas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 379-389, 2004.

PEDRO, C. R. S.; MADRUGA, P. R. A.; PIRES, C. A. F. Estudo das características físico-químicas do solo em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) através da geoestatística e do geoprocessamento. In: PIRES, C. A. F.; STRIEDER, A. J.; DAL'ASTA, A. P. **Geoestatística: Caderno Técnico**. Santa Maria:UFSM, 2011, 184p.

PELLISSARI, A. L. **Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Tectona grandis* L.f. na região sul do Estado de Mato Grosso**. 2012, 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

PIROLI, E. L.; CHAFFE, P. P. Análise florística e determinação de volume das principais espécies ocorrentes em uma Floresta Ombrófila Mista. 3. ENCONTRO DA ENERGIA NO MEIO RURAL, 2003. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100001&script=sci_arttext>. Acesso em 05 de dez. de 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FATEC/SEMA, 2002. 706p.

RODERJAN, C. V. et al. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência e Ambiente**, n. 24, p. 75-92, 2002.

RUFINO, T. M. C. et al. Uso da geoestatística no estudo da relação entre variáveis dendrométricas de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e atributos do solo. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 2, n. 3, p. 83-93, 2006.

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.

SANTOS, P. C. et al. O emprego da geoestatística na determinação do tamanho “ótimo” de amostras aleatórias com vistas à obtenção de estimativas dos volumes dos fustes de espécies florestais em Paragominas, estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 2, p. 213-222, 2011.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566p.

SILVA, I. L. G. et al.. Avaliação do uso da interpolação por meio da geoestatística e do inverso do quadrado da distância para a estratificação de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...**, Foz do Iguaçu: INPE, p. 3106-3111, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1503.pdf>>. Acesso em 24 de maio de 2013.

SKORUPA, A. L. A. et al. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 11-22, 2012.

SOARES, A. **Geoestatística para Ciências da Terra e do Ambiente**. 2. ed., Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006, 214p.

SOUSA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de agregados e matéria orgânica em solos de relevo diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 491-499, maio 2004.

TUOMINEN, S.; STUART, F.; POSO, S. Combining remote sensing, data from earlier inventories, and geostatistical interpolation in multisource forest inventory. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 33, p. 624-634, 2003.

USHIZIMA, T. M.; BERNARDI, J. V. E.; LANDIM, P. M. B. Estudo da distribuição espacial do angico (*Anadenanthera peregrina*) na Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” – Rio Claro, SP, Brasil, empregando metodologia geoestatística. **Holos Environment**, v. 3, n. 1, p. 59-73, 2003.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, L. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**. Campinas: IAC, 1998.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVARES V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

WADSWORTH, F. H.; ZWEEDE, J. C. Liberation: Acceptable production of tropical forest timber. **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 45-51, 2006.

WHITMORE, T. C. **An introduction to Tropical Rain Forests**. New York:Oxford University Press, 1990. 226p.

WOJCIECHOWSKI, J. C. et al. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de Floresta Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 383-391, 2009.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 215p.

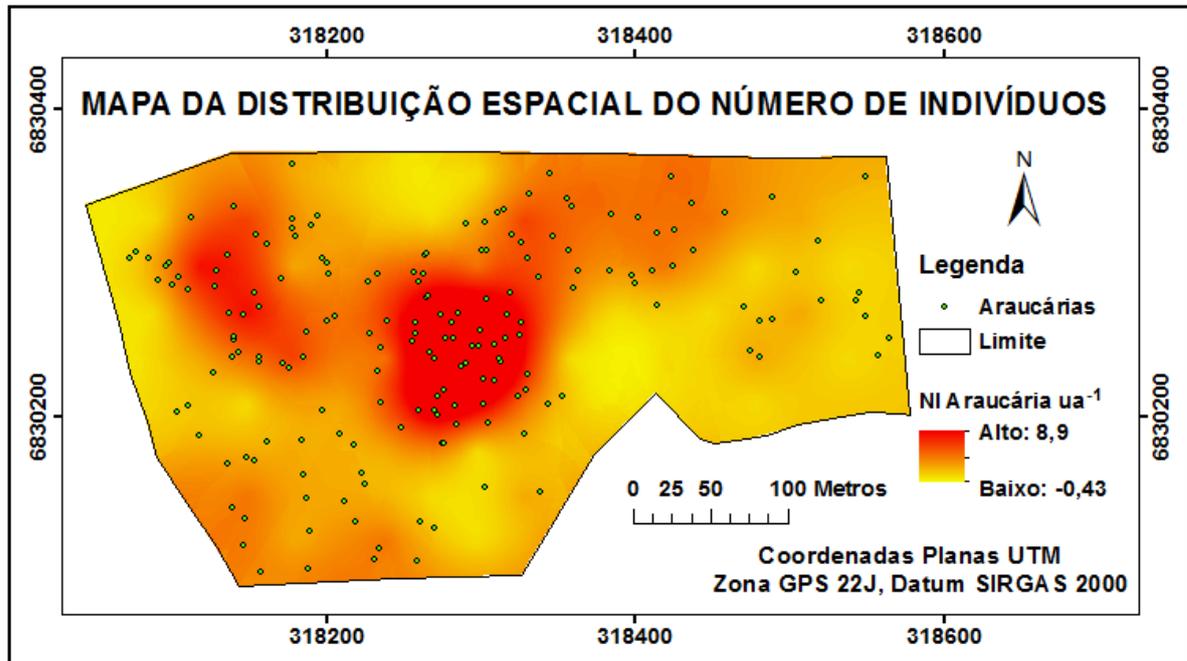
ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**, v. 199, p. 307-322, 2004.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001, 112f. Tese (Livre-Docência em Levantamento de Solos e Fotopedologia), Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

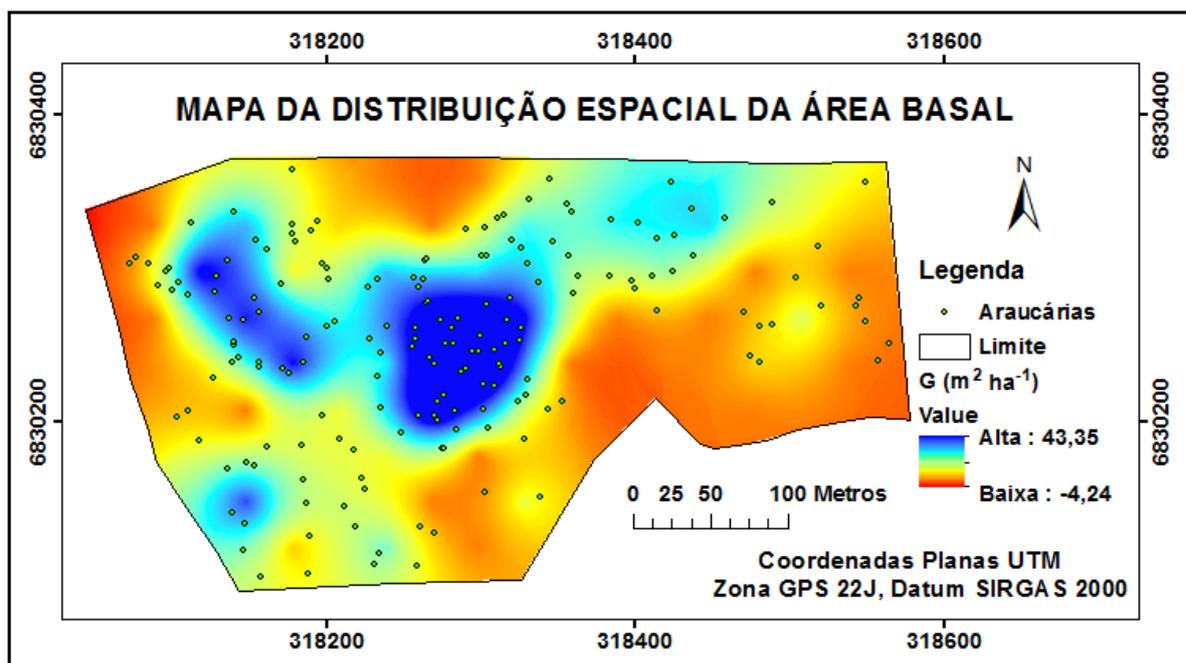
APÊNDICES

ARTIGO 1

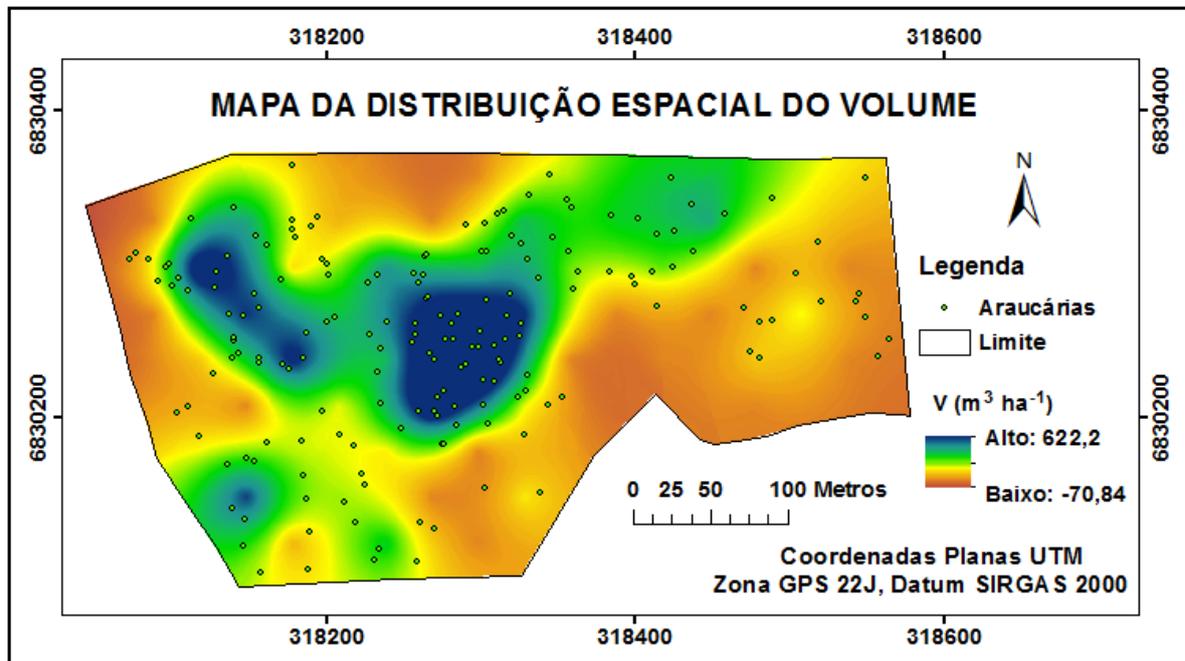
APÊNDICE A – Mapa da distribuição espacial do Número de Indivíduos



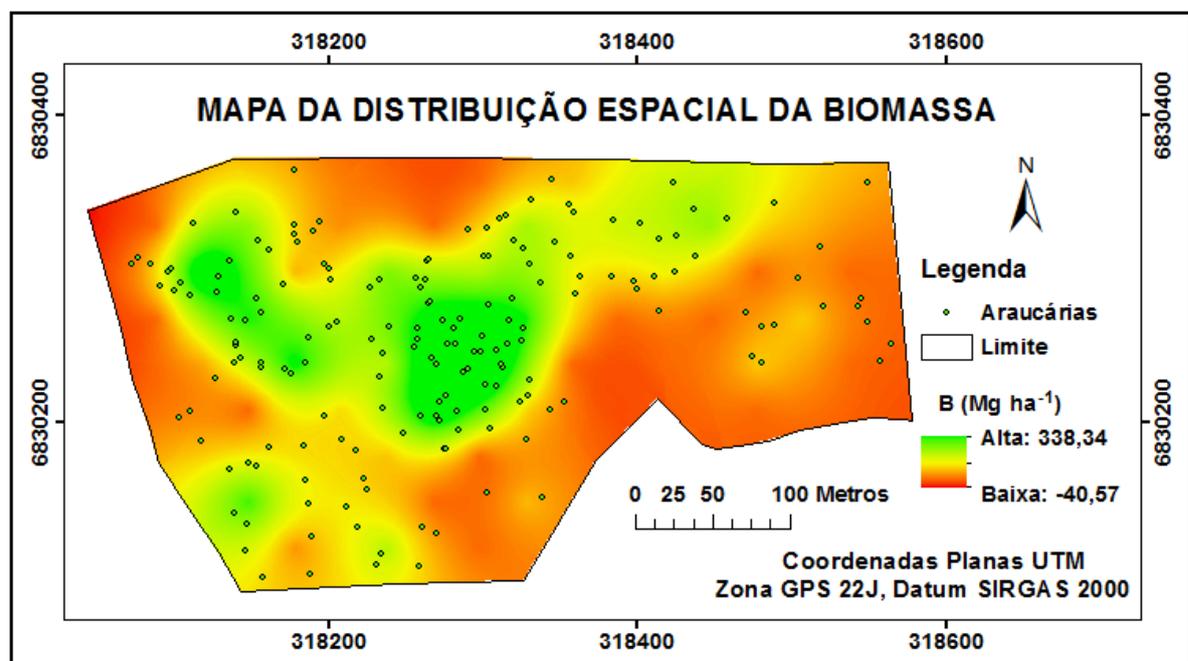
APÊNDICE B – Mapa da distribuição espacial da Área Basal



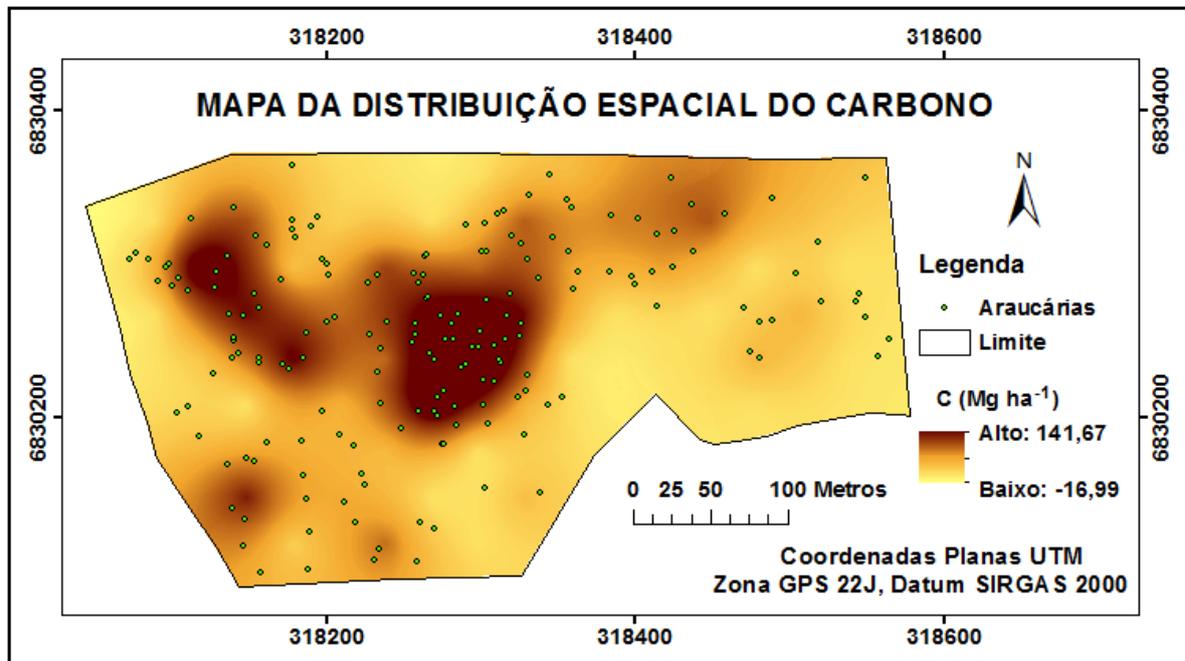
APÊNDICE C – Mapa da distribuição espacial do Volume



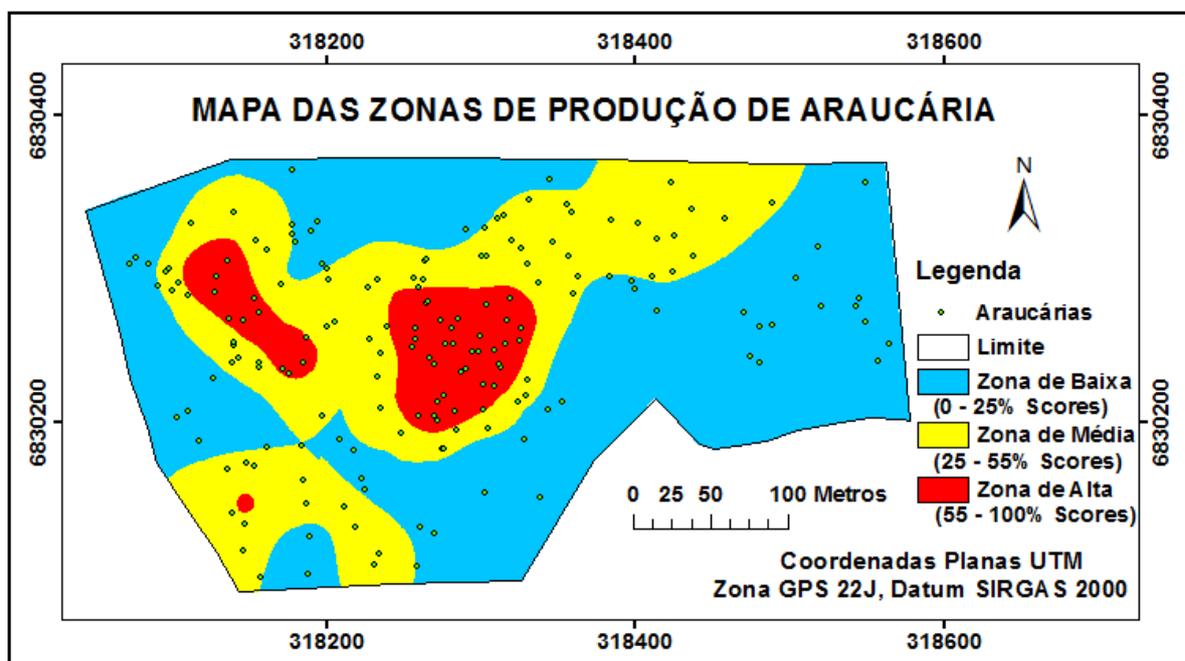
APÊNDICE D – Mapa da distribuição espacial da Biomassa



APÊNDICE E – Mapa da distribuição espacial do Carbono

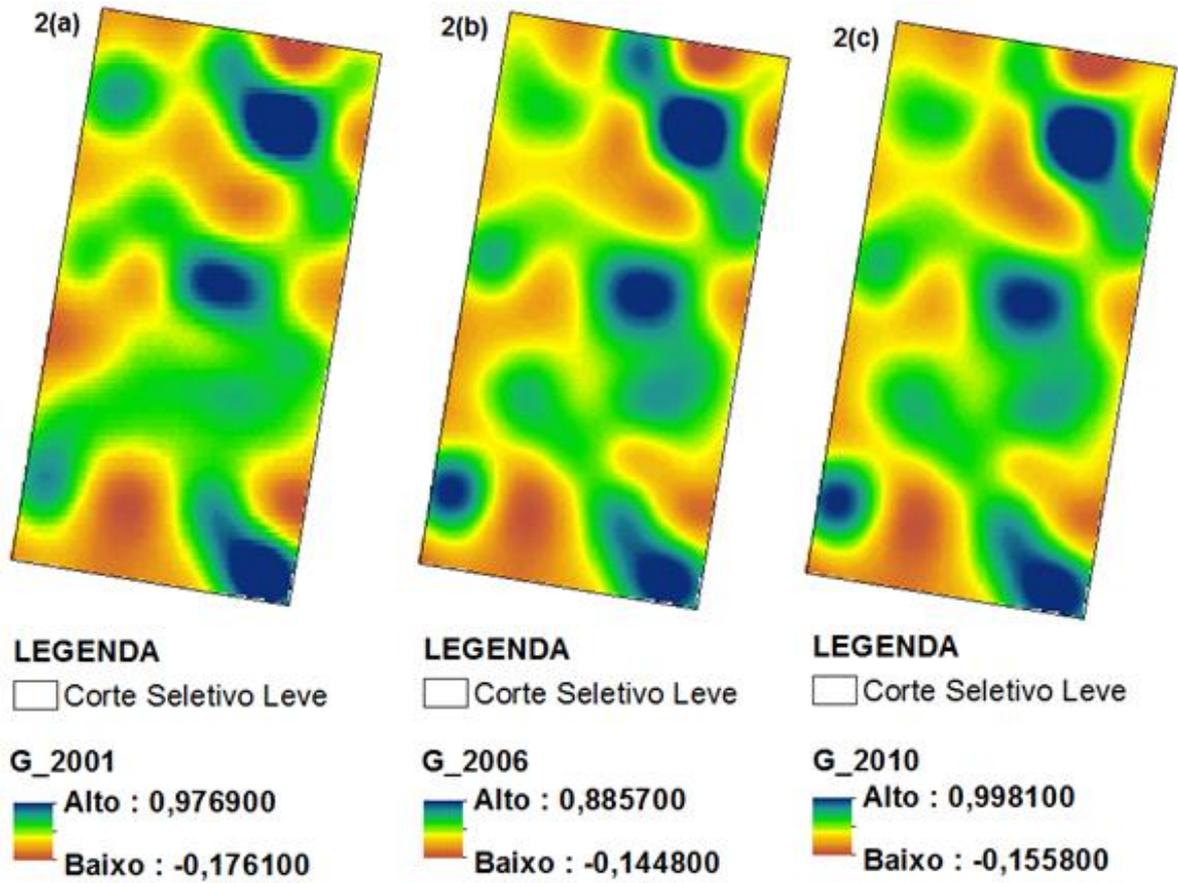


APÊNDICE F – Mapa das Zonas de Produção de Araucária

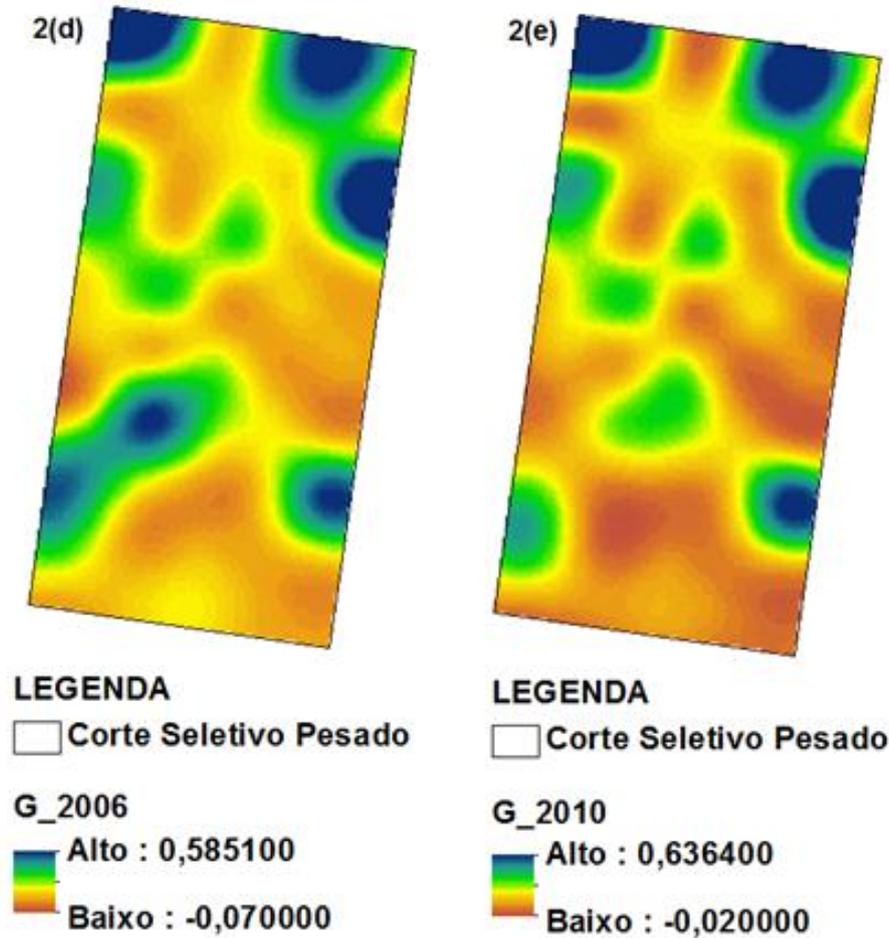


ARTIGO 2

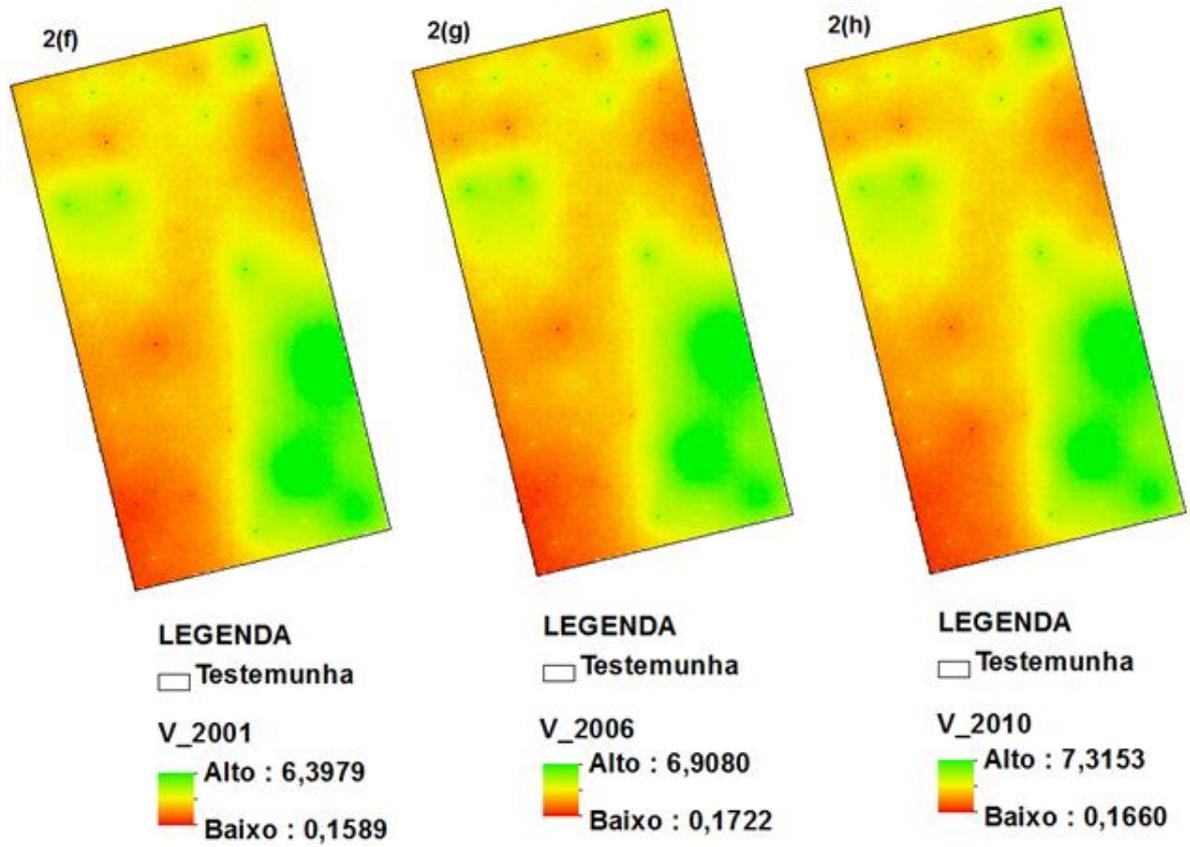
APÊNDICE A – Variabilidade da área basal (G) no tratamento corte seletivo leve empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



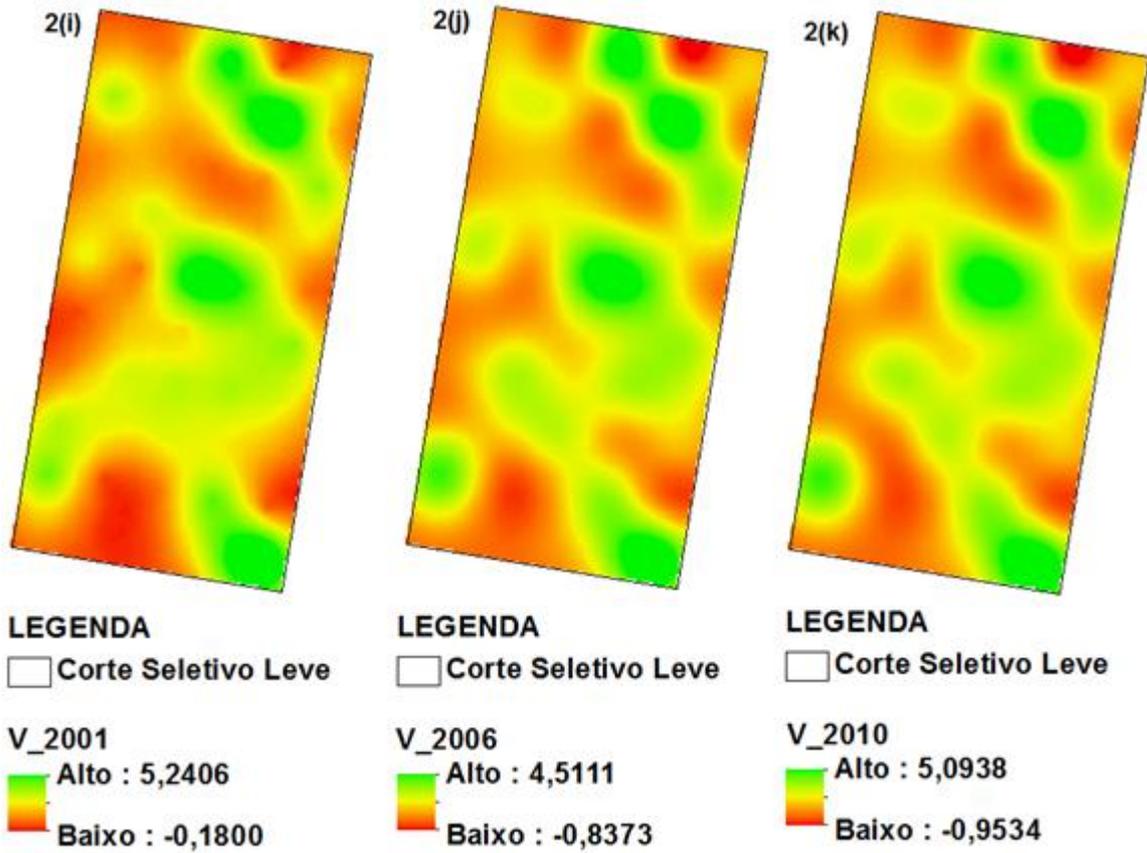
APÊNDICE B – Variabilidade da área basal (G) no tratamento corte seletivo pesado empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



APÊNDICE C – Variabilidade do volume comercial no tratamento testemunha empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



APÊNDICE D – Variabilidade do volume comercial no tratamento corte seletivo leve empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.



APÊNDICE E – Variabilidade do volume comercial no tratamento corte seletivo pesado empregado em FOM na Fazenda Tupi, Nova Prata, RS.

