

LÚCIO DE PAULA AMARAL

**GEOESTATÍSTICA NA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DA
VEGETAÇÃO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

GUARAPUAVA-PR

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

LÚCIO DE PAULA AMARAL

**GEOESTATÍSTICA NA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DA
VEGETAÇÃO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**



GUARAPUAVA-PR

2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO -PR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PPGA
MESTRADO

GEOESTATÍSTICA NA CARACTERIZAÇÃO DO
SOLO E DA VEGETAÇÃO EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LÚCIO DE PAULA AMARAL

GUARAPUAVA-PR

2010

LÚCIO DE PAULA AMARAL

**GEOESTATÍSTICA NA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DA VEGETAÇÃO EM
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Agronomia,
Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área
de Concentração Produção Vegetal, da
UNICENTRO-PR.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farinha
Watzlawick

Co-orientadora: Prof(a). Dr(a). Aline Marques
Genú

GUARAPUAVA-PR

2010

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da UNICENTRO, Campus Guarapuava

A485g Amaral, Lúcio de Paula
 Geoestatística na caracterização do solo e da vegetação em floresta
 ombrófila mista / Lúcio de Paula Amaral. -- Guarapuava, 2010
 xvii, 133 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em
Produção Vegetal, 2010

Orientador: Luciano Farinha Watzlawick
Co-orientador: Aline Marques Genú
Banca examinadora: Célia Regina Lopes Zimback, Pedro Roberto de
Azambuja Madruga

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Floresta com araucária. 3. Solo florestal. I. Título. II.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

CDD 634.9

LÚCIO DE PAULA AMARAL

**GEOESTATÍSTICA NA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DA VEGETAÇÃO EM
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 31 de maio de 2010.


Prof. Dr. Célia Regina Lopes Zimback
(UNESP/Botucatu)


Prof. Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga
(UFSM)


Prof. Dr. Aline Marques Genú
(UNICENTRO)


Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick
(Orientador - UNICENTRO)

GUARAPUAVA-PR

2010

Tudo o que somos nasce com nossos pensamentos. Em nossos pensamentos, fazemos o nosso mundo.

(Buda)

BIOGRAFIA

Lúcio de Paula Amaral, filho de José Ulisses do 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 segunda série em escolas públicas na zona rural de Itararé-SP. Concluiu o primeiro Grau na EEPG “Professora Adelaide de Oliveira Terron”, no Distrito de Santa Cruz dos Lopes, no mesmo.

Cursou o segundo grau, concomitantemente com o curso de Técnico em Contabilidade na EMSEGES “Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira”, em Itararé-SP, entre os anos de 1996 e 1998. Em julho de 2000, concluiu o curso de Técnico Florestal, pela ETE “Dona Sebastiana de Barros” – CEETESP, em São Manuel-SP.

Em dezembro de 2006 recebeu o Grau de Engenheiro Florestal, conferido pela Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP – Campus de Botucatu, em Botucatu-SP, momento em que também recebeu da Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais - FEPAF, o “*Prêmio FEPAF de Destaque em Pesquisa*”, no ano de 2006.

Em janeiro de 2008 recebeu o Título de Especialista em Geomática pelo Programa de Pós-graduação em Geomática da UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM, em Santa Maria-RS.

Em março de 2008 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Curso de Mestrado, no Departamento de Agronomia da UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE (UNICENTRO), em Guarapuava-PR, Área de Concentração: Produção Vegetal, que agora encerra com a defesa da presente Dissertação de Mestrado.

AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo, professor e orientador Dr. Luciano Farinha Watzlawick pela oportunidade dada, confiança integral em mim depositada, pronto apoio nos momentos difíceis, os quais foram muito importantes. Aos familiares do Professor Farinha pelo convívio e acolhida em seu lar, que me assistiram e ajudaram em minha permanência em Guarapuava-PR, abrindo a porta de seu lar quando aqui cheguei. À estes, de forma muito especial, o meu carinho especial e muito obrigado.

Agradeço em especial ao colega Ednilson, que conheci na ONG Preservação, que muito me ajudou, onde tive também contato com toda a sua família, o meu muito obrigado.

A Regiane, pelo companheirismo e caminhada lado a lado, onde buscamos os mesmo objetivos na vida profissional, acadêmica e pessoal, desejo que juntos possamos caminhar longe e construindo nossas vidas.

Aos professore(as) Aline Marques Genú, Sebastião Brasil Campos Lustosa, Marcelo Marques Lopes Müller, da UNICENTRO, e Célia Regina Lopes Zimback, da FCA-UNESP, pelos ensinamentos, atendimento e instruções que foram muito valiosas e necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, o meu muito obrigado.

Agradeço também aos outros professores/amigos que me orientaram em outros momentos, mas que agora junto comigo, colhemos os frutos de um longo trabalho, a eles dedico, Prof. Dr. Hélio Grassi Filho e Prof. Dr. Sérgio Lázaro de Lima, que me orientaram no Departamento de Recursos Naturais/Ciências do Solo, de onde trago toda a minha curiosidade científica e interesse por solo e floresta, ao Prof. Dr. Sérgio Campos, que orientou meu estágio de conclusão de curso, dando início ao geoprocessamento, todos da FCA-UNESP. Ao Prof. Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga, da UFSM, que me orientou na Especialização em Geomática, e à Carlos Adolfo Bantel, que me encaminhou às atividades florestais mesmo antes de cursar a Engenharia Florestal.

A todos os colegas de mestrado, entre estes Luís e Edson, aos colegas de laboratório e do Projeto Integração silvicultura-pecuária Patrikk, Viviam, Marielle e Gracieli.

Aos demais colegas e amigos do tempo de trabalho na ONG Preservação, Francisco, Fábio, Robson, Ricardo, Rafael, Bruno, Vianeí, Priscila e Danieli, e demais funcionários, aos amigos da RPPN Paraná, Anderson e Fernanda, e aos meus colegas de

república Jonas e Evandro.

À ONG Preservação, local de meu primeiro trabalho como Engenheiro Florestal, pela oportunidade e pela disponibilização da área de estudo e de dados importantes para a realização deste trabalho.

Ao Curso de Mestrado em Agronomia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela bolsa concedida, via recursos da Fundação Araucária, que propiciou as condições financeiras para meu estabelecimento em Guarapuava, de forma a ter tranquilidade e bom desempenho no referido curso, inclusive cursando disciplinas, na área florestal, em outra instituição de ensino – a UFPR.

A Fundação Araucária, pelo projeto de pesquisa aprovado, uso de geoprocessamento e geoestatística na caracterização de Floresta Ombrófila Mista, que financiou as análises, os trabalhos de campo, bem como equipamentos e materiais de consumo, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

A toda a minha família, meu pai José Ulisses Amaral, minha mãe Vera Lúcia de Paula Amaral e minhas irmãs, Lucilene de Paula Amaral e Lucélia de Paula Amaral, pelo apoio e amor dedicados a mim, que são parte de minha vida por onde quer que eu ande, por acreditarem em meu sonho e incentivarem o seu desenvolvimento, o meu muito obrigado. Em especial também ao amigo João Roberto Aliberti.

Aos demais professores, funcionários, colegas e amigos da UNICENTRO, e a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A amizade multiplica as coisas boas e divide as más.

(Baltasar Gracián)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 REFERENCIAL TEÓRICO	3
1.3.1 A Floresta Ombrófila Mista	3
1.3.2 O Solo e suas interações com a floresta	5
1.3.3 A Geoestatística	8
1.4 MATERIAL E MÉTODOS	17
1.4.1. Área de estudo	17
1.4.2 Amostragem da vegetação	19
1.4.3 Amostragens e análises de solo	20
1.4.4. Procedimentos computacionais	26
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA	40
RESUMO	40
ABSTRACT	40
2.1 INTRODUÇÃO	41
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	43
2.2.1 Parâmetros Fitossociológicos	44
2.2.1.1 Número de Indivíduos Total por Hectare	44
2.2.1.2 Área Basal – m ² ha ⁻¹ (G)	45
2.2.1.3 Número de Espécies Amostradas	45
2.2.1.4 Índice de Diversidade de Shannon-Weaner (<i>H'</i>)	46

2.2.1.5 Índice de Dominância de Simpson (<i>C</i>)	46
2.2.1.6 Índice de Equabilidade de Pielou (<i>J</i>)	47
2.2.2 Escolha de espécies para estimativas do número de indivíduos	47
2.2.3 Alometria	47
2.2.4 Ciclos de Exploração da Floresta	48
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
2.3.1 Ciclos de Exploração da Floresta	48
2.3.2 Fitossociologia, Alometria e Análise Espacial	50
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS ,	85
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

CAPÍTULO 3: USO DE GEOESTATÍSTICA NA CARACTERIZAÇÃO DE UM SOLO FLORESTAL EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	92
RESUMO	92
ABSTRACT	92
3.1 INTRODUÇÃO	93
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	95
3.2.1 Organização dos Dados e Análises	95
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
3.3.1 Análise Descritiva dos Dados	97
3.3.2 Análise Espacial	100
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
4 CONCLUSÕES	133

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 01	Análise estatística descritiva das variáveis do fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária	54
TABELA 02	Parâmetros variográficos das variáveis analisadas no fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária	54
TABELA 03	Validação cruzada da krigagem para as variáveis analisadas no fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária	84

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

QUADRO 01	Comparação entre métodos de interpolação	14
QUADRO 02	Indicadores e parâmetros sugeridos para avaliação da utilização da geoestatística na caracterização da vegetação em um fragmento de FOM, com base nos valores observados nos dados coletados	28
QUADRO 03	Indicadores e parâmetros sugeridos para avaliação da utilização da geoestatística na caracterização do solo em um fragmento de FOM, com base nos valores observados nos dados coletados	29

CAPÍTULO 2

QUADRO 01	Resultado da análise fitossociológica – estrutura horizontal	51
-----------	--	----

CAPÍTULO 3

QUADRO 01	Análise estatística descritiva das medidas de posição, dispersão e forma dos atributos do solo da Reserva Paisagem Araucária	98
QUADRO 02	Parâmetros variográficos dos atributos do solo da Reserva Paisagem Araucária	101
QUADRO 03	Validação Cruzada da krigagem para os atributos do solo da Reserva Paisagem Araucária	102

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

FIGURA 01	Distribuição regional da vegetação natural	3
FIGURA 02	Distribuição das unidades fitogeográficas mais representativas do Estado do Paraná	4
FIGURA 03	Exemplo de semivariograma	10
FIGURA 04	Representação gráfica dos modelos exponencial, esférico e gaussiano ..	12
FIGURA 05	Mapa de localização da área de estudo	17
FIGURA 06	Representação esquemática das parcelas empregadas para o levantamento das áreas com vegetação natural	19
FIGURA 07	Mensuração da profundidade do solo	21
FIGURA 08	Medida da resistência à penetração do solo.....	22
FIGURA 09	Coleta de amostras de solo, com trado holandês, para análises químicas e granulométricas	23
FIGURA 10	Análise granulométrica do solo pelo método da pipeta	24
FIGURA 11	Distribuição dos pontos que representam as unidades amostrais na amostragem da floresta e do solo	25
FIGURA 12	Fluxograma para construção de mapas de isovalores	27

CAPÍTULO 2

FIGURA 01	Semivariograma para a área basal por hectare ($m^2 ha^{-1}$)	56
FIGURA 02	Validação Cruzada para a área basal por hectare ($m^2 ha^{-1}$)	56
FIGURA 03	Semivariograma para o número de espécies por amostra	57
FIGURA 04	Validação Cruzada para o número de espécies por amostra	58
FIGURA 05	Mapa de isovalores para o número de espécies encontradas por unidade amostral	59
FIGURA 06	Áreas com influência de taquara na Reserva Paisagem Araucária Papagaio-do-Peito-Roxo, General Carneiro-PR (novembro de 2009)	60
FIGURA 07	Semivariograma para o Índice de Shannon-Weaner	61

FIGURA 08	Validação Cruzada para o Índice de Shannon-Weaner	61
FIGURA 09	Mapa de isovalores para o Índice de diversidade de Shannon-Weaner ...	62
FIGURA 10	Semivariograma para o Índice de dominância de Simpson	63
FIGURA 11	Validação Cruzada para o Índice de dominância de Simpson	64
FIGURA 12	Mapa de isovalores para o Índice de dominância de Simpson	65
FIGURA 13	Semivariograma para o Índice de equabilidade de Pielou	66
FIGURA 14	Validação Cruzada para o Índice de equabilidade de Pielou	67
FIGURA 15	Mapa de isovalores para o Índice de equabilidade de Pielou	68
FIGURA 16	Semivariograma para o número de indivíduos de <i>Dicksonia sellowiana</i> por ua.	69
FIGURA 17	Validação Cruzada para o número de indivíduos de <i>Dicksonia sellowiana</i> por ua.	70
FIGURA 18	Mapa de isovalores para o número de indivíduos de <i>Dicksonia sellowiana</i> por unidade amostral	71
FIGURA 19	Semivariograma para o número de indivíduos de <i>Mimosa scabrella</i> por unidade amostral	72
FIGURA 20	Validação Cruzada para o número de indivíduos de <i>Mimosa scabrella</i> por unidade amostral	73
FIGURA 21	Mapa de isovalores para o número de indivíduos de <i>Mimosa scabrella</i> por unidade amostral	74
FIGURA 22	Semivariograma para o número de indivíduos de <i>Ilex paraguariensis</i> por unidade amostral	75
FIGURA 23	Validação Cruzada para o número de indivíduos de <i>Ilex paraguariensis</i> por unidade amostral	75
FIGURA 24	Mapa de isovalores para o número de indivíduos de <i>Ilex paraguariensis</i> por unidade amostral	77
FIGURA 25	Semivariograma para a biomassa arbórea total acima do solo	78
FIGURA 26	Validação Cruzada para a biomassa arbórea total acima do solo	78
FIGURA 27	Mapa de isovalores para biomassa arbórea total acima do solo por unidade amostral	79
FIGURA 28	Semivariograma para carbono total da biomassa arbórea acima do solo	80
FIGURA 29	Validação Cruzada para carbono total da biomassa arbórea acima do solo	81
FIGURA 30	Mapa de isovalores para o carbono total na biomassa arbórea total acima	

do solo por unidade amostral	82
------------------------------------	----

CAPÍTULO 3

FIGURA 01 Semivariograma para Resistência à Penetração do solo (MPa)	103
FIGURA 02 Validação Cruzada para Resistência à Penetração do solo (MPa)	103
FIGURA 03 Mapa de isovalores para Resistência à Penetração do solo (MPa)	105
FIGURA 04 Semivariograma da profundidade do solo e do teor de argila (Efeito pepita puro)	106
FIGURA 05 Semivariograma para pH (CaCl ₂) (0 – 20 cm)	106
FIGURA 06 Semivariograma para pH (CaCl ₂) (0 – 20 cm)	107
FIGURA 07 Mapa de isovalores para pH (CaCl ₂) (0 – 20 cm)	108
FIGURA 08 Semivariograma para teor de matéria orgânica (g dm ⁻³) (0 – 20 cm)	109
FIGURA 09 Validação Cruzada para teor de matéria orgânica (g dm ⁻³) (0 – 20 cm)	109
FIGURA 10 Mapa de isovalores para o teor de matéria orgânica (g dm ⁻³) (0 – 20 cm)	111
FIGURA 11 Semivariograma para teor de matéria orgânica (g dm ⁻³) (60 – 80 cm)	112
FIGURA 12 Validação Cruzada para teor de matéria orgânica (g dm ⁻³) (60 – 80 cm)	112
FIGURA 13 Mapa de isovalores para o teor de matéria orgânica (g dm ⁻³) (60 – 80 cm)	113
FIGURA 14 Semivariograma para teor de fósforo (mg dm ⁻³) (0 – 20 cm)	115
FIGURA 15 Validação Cruzada para teor de fósforo (mg dm ⁻³) (0 – 20 cm)	115
FIGURA 16 Mapa de isovalores para para teor de fósforo (mg dm ⁻³) (0 – 20 cm) ..	116
FIGURA 17 Semivariograma para teor de fósforo (mg dm ⁻³) (60 – 80 cm)	117
FIGURA 18 Validação Cruzada para teor de fósforo (mg dm ⁻³) (60 – 80 cm)	118
FIGURA 19 Mapa de isovalores para para teor de fósforo (mg dm ⁻³) (60 – 80 cm) ..	119
FIGURA 20 Semivariograma para o teor de potássio (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	120
FIGURA 21 Validação Cruzada para o teor de potássio (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm) ..	120
FIGURA 22 Mapa de isovalores para o teor de potássio (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm) ..	121

LISTA DE ABREVIATURAS

- a – Alcance (m);
- Al^{3+} - Teor de Alumínio no solo;
- C – Carbono Total;
- Ca – Teor de Cálcio no solo;
- C_0 – Efeito Pepita;
- C_1 – Contribuição;
- C – Patamar ou soleira;
- C' – Índice de Dominância de Simpson;
- $C/(C+C_0)$ – Estrutura ou Proporção Espacial;
- cm – centímetros;
- CTC – Capacidade de Troca Catiônica;
- CV% - Coeficiente de Variação;
- DAP – Diâmetro à altura do peito;
- DA – Densidade absoluta;
- DR – Densidade relativa;
- DoA – Dominância absoluta;
- DoR – Dominância relativa;
- FA – Frequência absoluta;
- FOM – Floresta Ombrófila Mista;
- FR – Frequência relativa;
- G – Área basal da floresta ou do povoamento ($m^2 ha^{-1}$);
- GPS – Sistema de Posicionamento Global;
- $g dm^{-3}$ – grama por decímetro cúbico;
- h – Distância;
- ha – Hectares;
- H' – Índice de Diversidade de Shannon-Weaner;
- H'_{max} – $\ln(\text{número de espécies})$ ou diversidade máxima;
- H+Al – Acidez potencial;
- H_4SO_4 – Ácido sulfúrico;
- HNO_3 – Ácido nítrico;
- VI – Valor de Importância;

VC – Valor de Cobertura;
J' – Índice de Equabilidade de Pielou;
K – Teor de Potássio no solo;
Kgf cm⁻² – Kilogramaforça por centímetro quadrado;
m – Metros;
Mg – Teor de Magnésio no solo;
Mg ha⁻¹ – Megrama por hectare;
M.O. – Matéria Orgânica do solo;
MPa – Megapascal;
P – Teor de Fósforo no solo;
P – Biomassa arbórea acima do solo;
pH – Potencial Hidrogeniônico;
RP – Resistência à Penetração do Solo;
RPPN – Reserva Natural do Patrimônio Particular;
r² – Coeficiente de Determinação;
S – Teor de Enxofre no solo;
SB – Soma de bases;
SQR – Soma dos Quadrados dos Resíduos;
ua. – Unidade(s) amostral(ais);
V% - Saturação por bases;
γ(h) – Semivariância;
≥ – Maior e igual;

RESUMO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma importante formação florestal que ocorre no sul do Brasil, mas que foi intensamente explorada desde a época do Brasil Colônia, resultando em um grande número de fragmentos. A caracterização desses fragmentos é feita rotineiramente com o uso de levantamento florísticos e volumétrico, sem a preocupação com a influência da dependência espacial no comportamento das variáveis dentro de seus limites e com seu mapeamento, onde a geoestatística tem grande potencial como ferramenta para caracterizar a vegetação e o solo, sendo estes os objetivos deste trabalho. A área de estudo é um fragmento de FOM localizado em General Carneiro-PR, onde foram instaladas 45 unidades amostrais, georreferenciadas, para caracterizar a floresta e o solo. Foi realizado levantamento florístico para análise fitossociológica e estimativas de biomassa e carbono, coleta de solo para análises químicas e granulométricas, mensuração da profundidade e resistência à penetração do solo, e identificação de usos da floresta, onde se utilizou a krigagem para as estimativas no programa GS+. Na floresta os índices de diversidade, dominância e equabilidade apresentaram os melhores resultados, onde o Índice de Shannon foi o melhor, e no solo, a resistência à penetração, pH (CaCl₂) e os teores de matéria orgânica (M.O.), Fósforo (P) e Potássio (K) apresentaram os melhores resultados, onde M.O. foi o melhor. A floresta apresentou-se em regime de distúrbio, influenciando o comportamento de suas variáveis, e os atributos do solo mostraram-se muito variáveis, resultando em alta variância das amostras, que de maneira geral dificultou o ajuste dos semivariogramas. Conclui-se que a metodologia atingiu os objetivos do trabalho, mostrando-se ser uma ferramenta com grande potencial para a compreensão da floresta e do solo, gerando informações que podem ajudar no uso sustentável e na conservação desses importantes recursos naturais.

Palavras-chave: Floresta com Araucária; solo florestal; interpolação; krigagem.

ABSTRACT

The Mixed Ombrophilous Forest (MOF) is an important forest type that occurs in southern Brazil, but has been heavily exploited since the time of colonial Brazil, resulting in a large number of fragments. The characterization of these fragments is routinely performed using forest survey, without concern about the influence of spatial dependence in the behavior variables within their limits and their mapping, where geostatistics has great potential as a tool to characterize the vegetation and soil, which are the objectives of this work. The study area is located a fragment of MOF in General Carneiro, Paraná, where they were installed 45 sampling units, georeferenced, to characterize the forest and soil. Floristic survey was conducted for phytosociological analysis and estimates of biomass and carbon, soil sampling for chemical analysis and particle size, measure the depth and penetration resistance of soil, and identification of forest uses, which used the kriging for estimating the program GS +. In the forest the diversity index, dominance and evenness showed the best results, where the Shannon index was the best, and soil penetration resistance, pH (CaCl₂) and soil organic matter (SOM), phosphorus (P) and potassium (K) showed the best results, where SOM was the best. The forest appeared in disturbance system, influencing the behavior of its variables, and soil properties were very variable, resulting in high variance of the samples, which generally made it difficult to fit semivariograms. It is concluded that the methodology has achieved the objectives of the work, proving to be a tool with great potential for the understanding of forest and soil, generating information that can help in sustainable use and conservation of important natural resources.

Keywords: Araucaria Forest; forest soil; interpolation; kriging.

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 INTRODUÇÃO

Os estudos detalhados dos componentes de um ecossistema florestal, como por exemplo, o solo e a comunidade arbórea, servem de subsídios ao desenvolvimento e aperfeiçoamento das técnicas de conservação, preservação, silviculturais e de manejo, visando sua operacionalidade e sustentabilidade. Muitos destes estudos são realizados, no entanto, sem considerar a dependência espacial que existe para as variáveis de um ecossistema, ou ainda, sem se preocupar com a sua representação no espaço.

A problemática a ser trabalhada visa analisar e representar a variabilidade espacial nas variáveis de uma floresta e nos atributos de seu solo, utilizando a geoestatística, com a técnica da krigagem.

Segundo Goslee (2006), vários estudos ecológicos relatam que a maioria das comunidades, se não todas as comunidades, são espacialmente estruturadas e de que os métodos de amostragem devem ser robustos para detectar diferentes níveis de autocorrelação espacial. Apesar da importância da autocorrelação espacial em levantamentos ecológicos ser reconhecida, pouca informação quantitativa encontra-se disponível. Estima-se que mais de 80% das publicações na literatura ecológica não consideram a estrutura espacial de dependência espacial (DORMANN, 2007).

A representação de dados no espaço é essencial em diversas áreas das ciências, principalmente nas ciências naturais e seu uso é extensivo em agronomia, biologia, ecologia, geografia, geologia, meteorologia, etc.. Exemplos de mapas que podem ser gerados por interpolação são mapas topográficos a partir da medida da posição (coordenadas) e altitude de alguns pontos de um terreno (LANDIM et al., 2002).

As metodologias de amostragem em estudos ambientais ainda constituem motivo de acaloradas discussões no meio científico, seja pela sua representatividade, seja pela adequação do padrão de amostragem e técnica à resposta que se pretende dar (HERRMANN et al., 2009).

Alguns autores utilizaram a geoestatística para o estudo da variabilidade, dependência e continuidade espacial de atributos da natureza, como: Trangmar et al. (1985), Kirda et al. (1988), Vieira et al. (1992), Reichardt et al. (1993), Vans Es e Van Es (1993) e Shouse et al. (1995).

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 (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), por intermédio do semivariograma e da dependência espacial (SOUZA et al., 2004).

Para Watzlawick et al. (2008), a caracterização dos componentes de uma floresta, assim como dos processos resultantes da interação entre eles, são fundamentais para conhecer o seu funcionamento, avaliar as implicações qualitativa e quantitativas da interferência antrópica na sua auto-sustentabilidade.

Segundo Ushizima et al. (2003), os estudos pertinentes à aplicação de metodologia geoestatística na avaliação da distribuição espacial e mapeamento de populações de espécies vegetais ou comunidades vegetais são escassos.

Neste trabalho discute-se o uso da geoestatística para melhor representar a floresta e o solo em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro, Estado do Paraná. Os resultados são apresentados em três capítulos: o primeiro, que trata de uma revisão geral do assunto abordado, o segundo, que trata do uso da geoestatística na caracterização da flora arbórea do fragmento e o terceiro, apresentando o uso da geoestatística na caracterização do solo da floresta.

Esta revisão introdutória (capítulo 1) tem como objetivo dar suporte e facilitar o entendimento dos capítulos seguintes, onde a partir de gráficos como o semivariograma, a superfície contínua de dados foi criada, podendo-se ter uma idéia da segregação espacial das variáveis e o seu alcance no espaço em unidades métricas conhecidas (JAKOB, 2002), elaborando-se, para estas informações, mapas, contendo os elementos cartográficos básicos denominados mapas temáticos (ZIMBACK, 2009).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi utilizar a geoestatística na caracterização de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista.

Os objetivos específicos foram caracterizar a variabilidade espacial da floresta (dados de análise fitossociológica, estimativas de biomassa e carbono, avaliando indivíduos arbóreos) e dos atributos do solo (oriundos de análises química - macronutrientes, análise granulométrica, resistência à penetração e profundidade), utilizando a técnica da krigagem, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista.

1.3 REFERENCIAL TEÓRICO

1.3.1 A Floresta Ombrófila Mista

A Floresta Ombrófila Mista - FOM ou floresta com araucária (IBGE, 1992) cobria originalmente cerca de 200.000 km² em todo o Brasil (Figura 1), ocorrendo no Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em manchas esparsas no sul do estado de São Paulo (3%), adentrando até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (CARVALHO, 1994).

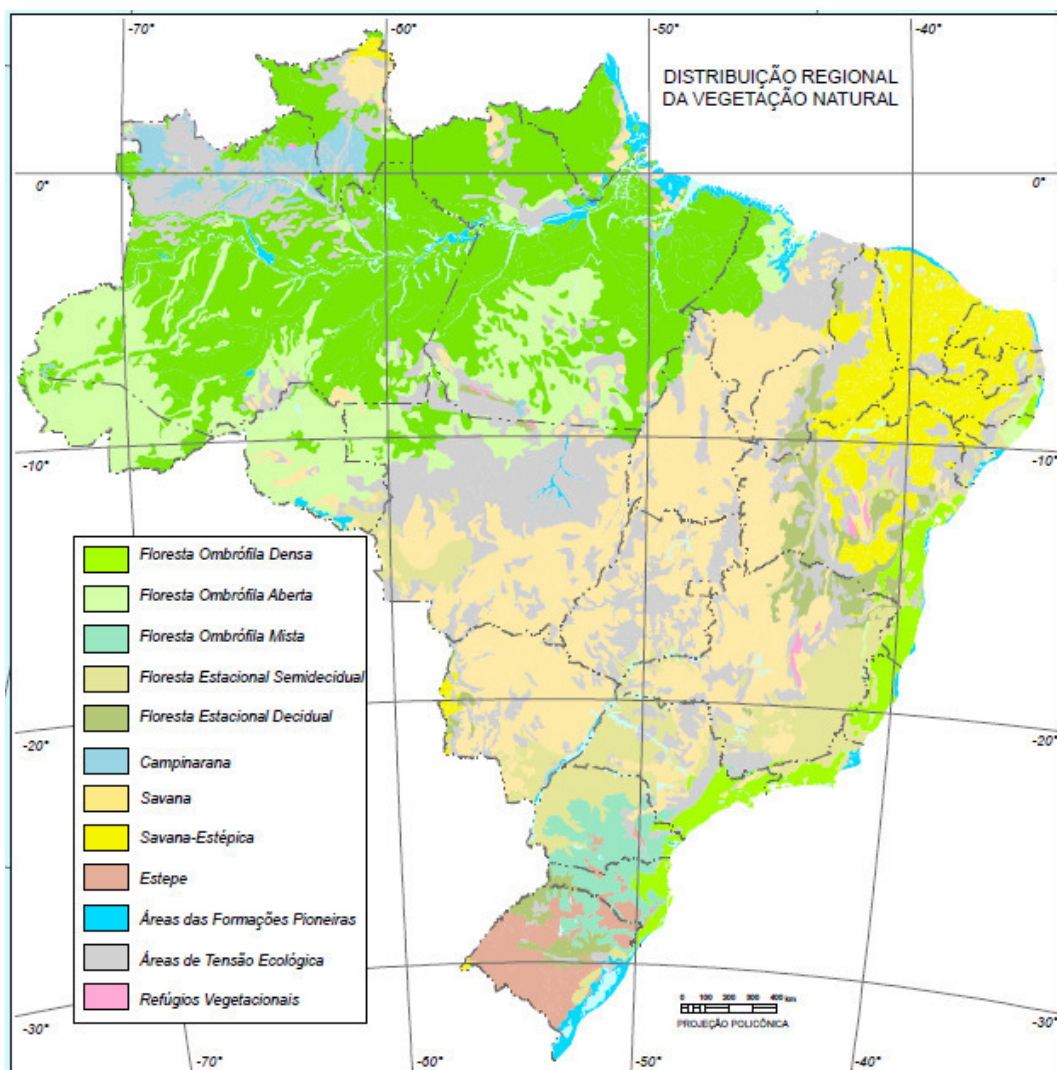


Figura 1. Distribuição Regional da Vegetação Natural (IBGE, 2008)

A Floresta Ombrófila Mista contempla a coexistência de representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira), em marcada relevância

fisionômica de elementos Coniferales e Laurales, onde domina a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), espécie gregária de alto valor econômico e paisagístico (RODERJAN et al., 2002), formando uma unidade fitoecológica marcante e bastante distinta. Ainda, para os mesmos autores, a FOM compreende as formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul do Brasil, com disjunções na região Sudeste e em países vizinhos (Paraguai e Argentina). Encontra-se predominantemente entre 800 e 1200 m de altitude, podendo eventualmente ocorrer acima e abaixo desses limites.

No Paraná, a oeste da Serra do Mar, ocupando as porções planálticas do estado (em média entre 800 e 1200 m de altitude), situa-se a região da Floresta Ombrófila Mista (Figura 02), sem influência direta do oceano, mas com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sendo a composição florística fortemente influenciada pelas baixas temperaturas e pela ocorrência regular de geadas no inverno (RODERJAN et al., 2002), sendo esta uma das cinco grandes unidades fitogeográficas do Estado, em razão da área territorial ocupada (RODERJAN et al., 1993).

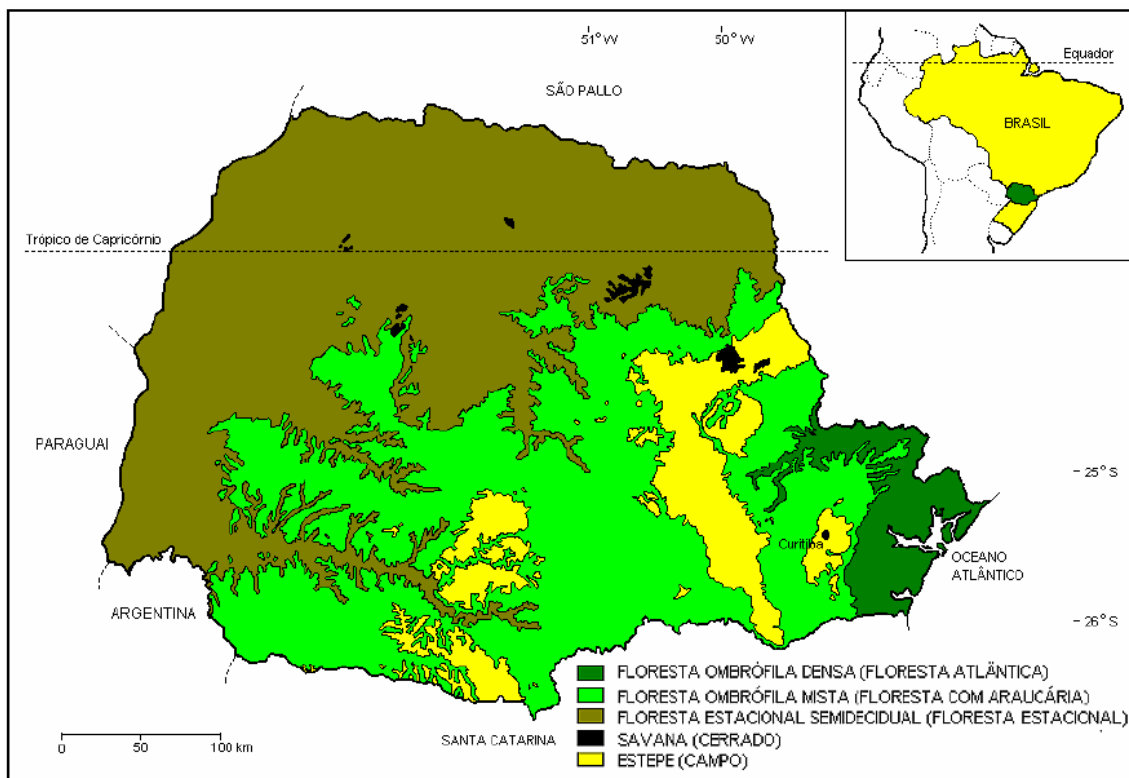


Figura 2. Distribuição das unidades fitogeográficas mais representativas do Estado do Paraná (Fonte: Maack, 1950, modificado por RODERJAN et al., 2002).

Na Floresta Ombrófila Mista, a *Araucaria angustifolia*, constitui o dossel superior dessa tipologia florestal, é uma espécie que apresenta um caráter dominante na vegetação, representando uma grande porcentagem dos indivíduos do estrato superior e ocorrendo como espécie emergente, atingindo grandes alturas e diâmetros (LONGHI, 1980; LEITE e KLEIN, 1990). Essa conífera, sem dúvida, é a espécie mais importante que caracteriza a fitofisionomia dessa formação florestal (NASCIMENTO et al., 2001).

Para Castella e Britez (2004), os remanescentes desse rico e original ecossistema foram extremamente fragmentados, não chegando a perfazer 5% da área original, dos quais irrisórios 0,7% poderiam ser considerados como áreas primitivas, as chamadas “matas virgens”. A maior parte desses remanescentes esta em terras privadas, muitas das quais pertencentes a indústrias madeireiras, submetidos, portanto, à constante exploração, o que tem contribuído para acelerar o seu empobrecimento genético.

Segundo Reis (1995), estima-se que ocorram, só no estado do Paraná, um número superior a 200 espécies arbóreas, com aproximadamente 40% de endemismo na FOM, e que a flora arbórea desta fitounidade seja superior a 350 espécies (LEITE, 1994).

Segundo Nascimento et al. (2001), a exploração intensiva de madeiras de grande valor econômico de espécies como *Araucaria angustifolia* (pinheiro-brasileiro), *Ocotea porosa* (Nees) L. Barroso (imbuia), *Luehea divaricata* Mart. (açoita-cavalo) e *Cedrela fissilis* Vell. (cedro) reduziu suas reservas naturais, o que, aliado à falta de estudos sobre a demografia e a dinâmica na comunidade, colocam essas populações residuais em grande perigo. Outras espécies não-madeiráveis, comuns nessa formação vegetal, como *Dicksonia sellowiana* Hook (xaxim) e *Maytenus ilicifolia* Mart. Et Reis. (espinheira-santa), exploradas como produtos secundários, sofreram uma grande redução em suas reservas naturais.

1.3.2 O solo e suas interações com a floresta

O solo constitui o recurso natural básico e, também, é um recurso renovável se conservado e usado corretamente. Para Godefroy e Jacquín (1975), a introdução de sistemas agrícolas em substituição às florestas causa um desequilíbrio no ecossistema, modificando as propriedades do solo, cuja intensidade varia com as condições de clima, usos e manejos adotados e a natureza do solo.

As florestas, como recurso natural, exercem um importante papel na melhoria da qualidade nutricional e características físicas dos atributos de um solo. O estudo desses atributos torna-se essencial quando se objetiva o manejo racional, produtividade sustentável e predição dos ecossistemas florestais, pois ambos, floresta e solo, encontram-se interligados (WOJCIECHOWSKI et al., 2009).

Em relação às florestas e a qualquer tipo de vegetação, o solo constitui-se no fator do ecossistema de abastecimento de água e nutrientes, cuja disponibilidade está na dependência do clima geral, do relevo, dos processos físicos do solo, da matéria orgânica disponível, dos microorganismos existentes e ainda da qualidade química dos minerais do solo (SCHUMACHER e HOPPE, 1999).

Conforme Coote e Ramsey (1983), com o uso intensivo dos solos, geralmente ocorre à deterioração das suas propriedades físicas. A estrutura do solo é um dos atributos mais importantes para a adaptação das espécies e pode ser avaliada através da densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e permeabilidade, entre outros.

De acordo com Scopel et al. (1992), os solos florestais podem ser compactados por animais em pastejo e também pelas raízes de árvores. Assim, a energia necessária para compactar o solo pode ser obtida do impacto da chuva, do crescimento das raízes da planta, do tráfego de homens e animais, do peso da vegetação e do próprio solo, como os ciclos de umedecimento e secagem.

O adensamento pode ter origem na consolidação natural do solo durante o processo de sua formação, na contração natural que ele sofre durante os períodos de secagem e na desestruturação de seus agregados pela ação do impacto das gotas da chuva (SIRTOLI et al., 2006).

Os fatores que podem causar a compactação do solo florestal são variados, porém sempre ligados ao tráfego e pisoteio de animais e, particularmente, quando há atividades de manejo florestal com o emprego de máquinas, caminhões e outros implementos nas diferentes fases da floresta (SIRTOLI et al., 2006).

O aumento da densidade do solo pode diminuir o desenvolvimento radicular das plantas devido ao impedimento físico. Segundo Arshad et al. (1996), em solos com resistência à penetração maior que 2,0 Megapascal (MPa), o crescimento de raízes é limitado e, naqueles com valores abaixo de 1,0 MPa, a resistência pode ser assumida como pequena. Segundo Grant e Lanfond (1993), valores na faixa de 1,5 a 3,0 MPa são restritivos

ao crescimento radicular. Segundo Cavenage et al. (1999), o uso do solo altera os atributos físicos em relação à vegetação natural.

A atividade florestal constitui-se numa ação que tem influência direta sobre o ambiente, especialmente sobre o solo, capaz de provocar profundas modificações no ecossistema. Por isso o planejamento da utilização dos recursos florestais de forma racional e sustentável é muito importante, pois esse envolve as árvores, os animais, a água e, principalmente, o solo (SCHUMACHER e HOPPE, 1999).

As florestas proporcionam grandes benefícios ao solo, uma vez que reduzem a compactação e a erosão, mediante a atenuação progressiva do impacto da chuva, em virtude da existência de vários extratos na vegetação e da manta orgânica formada sobre o solo (SILVA et al., 1997). Para Campos et al. (1995), o fornecimento contínuo de material orgânico pela serapilheira ou por excreções radiculares, cujos subprodutos são constituídos por moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atua como agente de formação e estabilização dos agregados, proporcionando uma melhor estruturação do solo. Já, por sua vez, o solo influencia a ocorrência ou não de determinadas espécies, influenciando a composição florística.

No decorrer do desenvolvimento das espécies vegetais, ocorre uma estreita inter-relação entre os fatores que determinam a formação do solo e o ambiente dos ecossistemas, o que ocasiona uma mudança nas características da vegetação, resultando num processo natural de seleção de espécies. Assim, a forma das paisagens representa um retrato do momento de um processo contínuo e dinâmico das formações vegetais (SCHUMACHER e HOPPE, 1999).

A serapilheira é a característica mais distintiva de um solo florestal e contribui consideravelmente para as suas propriedades físicas e químicas. A camada de matéria orgânica em decomposição que se encontra sobre a superfície do solo mineral, com sua microflora característica e com sua fauna constituem a dinâmica do ambiente florestal e representa o critério mais importante na distinção entre solos ocupados com floresta ou com culturas agrícolas. Grande parte dos restos vegetais e animais juntando-se com os produtos de excreção, misturando-se gradualmente com o solo mineral e, em integração com as partes subterrâneas das plantas, formam a fração orgânica do solo. A camada de serapilheira constitui-se numa fornecedora permanente de alimentos para a microflora e fauna, através da queda constante de resíduos das árvores, sendo também uma fonte relevante de nutrientes como o nitrogênio, fósforo e enxofre para as plantas superiores. A retirada da serapilheira das florestas ocasiona uma degradação do terreno e uma

sensível diminuição de fertilidade do solo, além de deixar a superfície mais susceptível aos impactos das gotas de chuva, da erosão e da diminuição de infiltração (SCHUMACHER e HOPPE, 1999).

1.3.3 A Geoestatística

Na África do Sul, pesquisadores, destacando-se entre eles o engenheiro de minas Daniel G. Krige e o estatístico H. S. Sichel desenvolveram empiricamente uma técnica própria de estimativa para o cálculo de reservas minerais, o qual posteriormente recebeu tratamento formal no Centre de Morphologie Mathematique em Fontaineblau, França (MATHERON, 1963). Tal metodologia recebeu de Matheron o nome *Geoestatística* para o estudo das chamadas variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial, as quais têm um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e aquelas totalmente determinísticas (LANDIM, 2003).

Para Guerra (1988), essas variáveis têm em comum uma dupla característica: são aleatórias, pois os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro no espaço, e são espaciais, pois apesar de serem muito variáveis no espaço, os valores numéricos observados não são inteiramente independentes. Para Landim (2003), essas variáveis apresentam uma aparente continuidade no espaço, sendo representada por funções numéricas ordinárias que assumem um valor definido a cada ponto no espaço e matematicamente descrevem um fenômeno natural.

Em estudos ecológicos, a geoestatística é utilizada na detecção e descrição da estrutura de dependência espacial, na otimização amostral (escala de estudo, tamanho e forma da unidade amostral), interpolação e construção de mapas, e na estimação e inferência de variáveis relacionadas ao meio (AUBRY e DEBOUZIE, 2000; 2001).

Segundo Isaaks e Srivastava (1989), a geoestatística fundamenta-se na esperança de que, na média, as amostras próximas, no tempo e no espaço, sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes.

Alguns métodos estimadores geoestatísticos da autocorrelação espacial são usados como ferramentas de continuidade espacial, tais como: o variograma ou semivariograma, o covariograma e o correlograma. Essas ferramentas são usadas para investigar a magnitude da correlação entre as amostras e sua similaridade ou não com a distância (ZIMBACK, 2001).

O semivariograma é a descrição matemática do relacionamento entre a variância de pares de observações (pontos) e a distância separando estas observações (h). A autocorrelação espacial pode então ser usada para fazer melhores estimativas para pontos não amostrados (inferência = krigagem) (JAKOB, 2002). O semivariograma depende da distância h entre x e x+h (VIEIRA, 2000).

Segundo Isaaks e Srivastava (1989) a dependência espacial dos dados é dada:

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

onde: $\gamma(h)$ = é a semivariância estimada;

$N(h)$ = é o número de pares de valores medidos $[Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]$ separados por um vetor h.

Segundo Clarck (1979), a variável regionalizada é denominada $Z_{(xi)}$, na denominação geoestatística.

O semivariograma fundamenta-se na Teoria das Funções Aleatórias (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), que apresenta a estimativa experimental dessas estatísticas. Para um local x o valor da variável é representado por $Z_{(x)}$, onde x é o vetor (x,y) e $Z_{(xi+h)}$ representa o valor da mesma variável para alguma distância h (ou “lag”), em qualquer direção. O semivariograma resume a continuidade espacial para todos os pareamentos (comparação de dois valores) e para todos os h significativos.

Para Vieira (2000), se $\gamma(h)$ depende somente da distância e não da orientação, o semivariograma é denominado isotrópico. Uma outra hipótese da teoria geoestatística é que o semivariograma não depende da posição x, mas sim da natureza e da forma da relação de uma variável regionalizada, entre um ponto e outro qualquer, que depende da distância entre estes dois pontos, e não onde os pares de pontos estão localizados dentro da área. A dependência espacial manifesta-se como uma correlação entre as amostras que diminui à medida que a distância entre os pontos amostrais aumenta, e desaparece completamente quando as distâncias entre os pontos amostrais é suficientemente grande, os quais, neste caso, são considerados estatisticamente independentes.

Os modelos esférico, exponencial, gaussiano, e os lineares sobressaem-se dentre os modelos teóricos de sevariograma (GUERRA, 1988). A Figura 3 representa a análise e o ajuste do semivariograma experimental a um teórico, constituindo a Análise Estrutural.

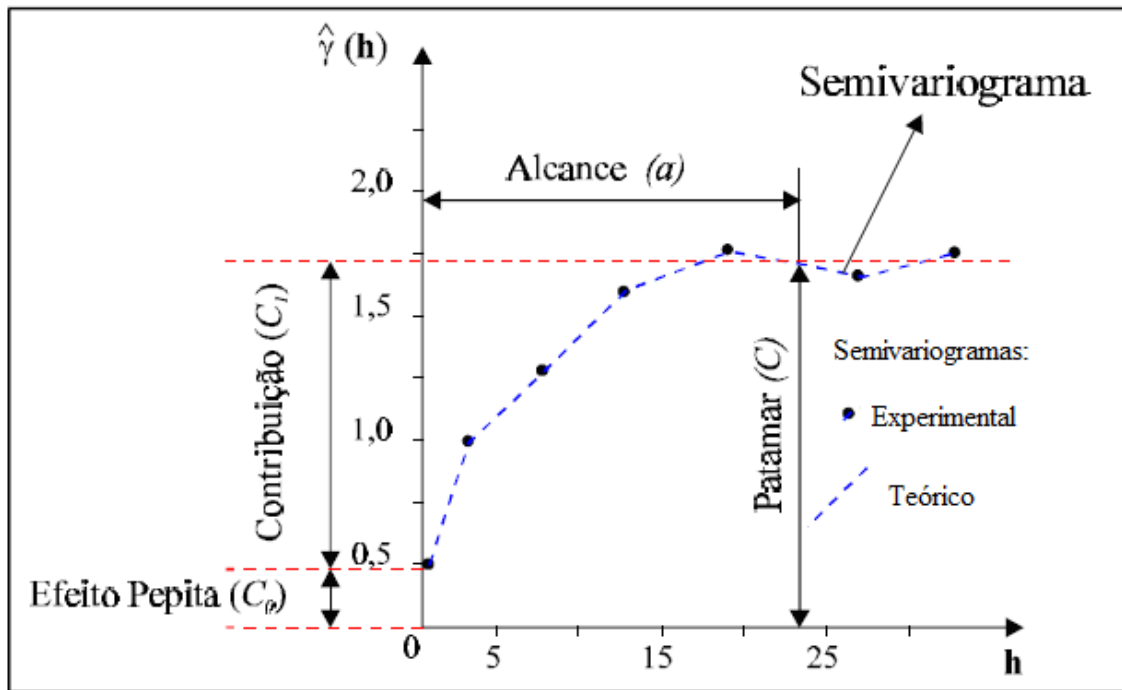


Figura 3. Exemplo de semivariograma (Adaptado de CAMARGO, 2001).

onde:

- $\hat{\gamma}(h)$ = Semivariância;
- h = Distância;
- C_0 = Efeito Pepita;
- C_1 = Contribuição;
- C = Patamar ou soleira;
- a = Alcance.

Sendo:

- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (CAMARGO, 2001). Segundo Guerra (1988) corresponde ao conceito da zona de influência ou de dependência espacial de uma amostra, marcando a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes.
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância (CAMARGO, 2001), ou ainda corresponde ao ponto

onde toda variância da amostra é de influência aleatória, correspondendo a variância total (S^2) obtida pela estatística clássica (TRANGMAR et al., 1985).

- Efeito Pepita (C_0): corresponde a cota do ponto onde o semivariograma corta o eixo das ordenadas. Segundo Valente (1989), este ponto reflete as microestruturas não captadas pela escala da amostragem, erros de amostragem, de análises laboratoriais, etc.. Idealmente $\gamma(0) = 0$. Entretanto, na prática à medida que h tende para zero, $\hat{\gamma}(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado efeito pepita (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem (CAMARGO, 2001).
- Contribuição (C_1): é a diferença entre o Patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0) (CAMARGO, 2001).

Segundo Guerra (1988), ocorrem três tipos de semivariogramas: o observado ou experimental (obtido a partir das amostras obtidas no campo), o verdadeiro (real, mas desconhecido) e o teórico (de referência, utilizado para o ajuste do modelo).

A sensibilidade dos semivariogramas, com a finalidade de detectar a variabilidade espacial das amostras, está diretamente ligada ao melhor ajuste dos dados experimentais ao modelo teórico do variograma (ZIMBACK, 2001).

O procedimento de ajuste não é direto e automático, como no caso de uma regressão, por exemplo, mas sim interativo, pois nesse processo o intérprete faz um primeiro ajuste e verifica a adequação do modelo teórico. Dependendo do ajuste obtido, pode ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório (CAMARGO, 2001).

Dentre as ferramentas geoestatísticas, segundo McBratney e Webster (1986), o ponto central é o semivariograma, pois descreve variações quantitativas e interpola nos pontos não amostrados. Assim, é importante escolher o modelo apropriado para a estimação do semivariograma devido a que cada modelo apresenta valores muito diferentes para o efeito pepita, variância e alcance, os quais são parâmetros críticos da krigagem (TRANGMAR et al., 1985).

O aplicativo GS+ (GS+, 2000), utilizado nas interpolações desta pesquisa, também possui cinco opções de modelo, sendo estes os mais comuns e considerados modelos básicos, utilizados em diversos programas geoestatísticos, denominados de modelos isotrópicos por Isaaks e Srivastava (1989), onde alguns estão esquematizados na figura 4.

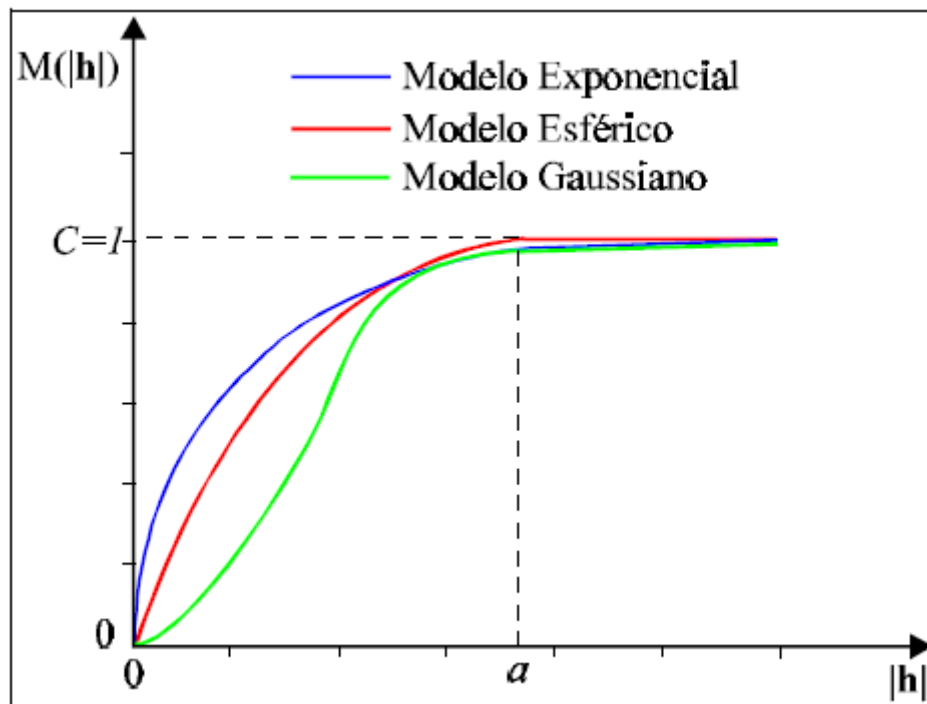


Figura 4. Representação gráfica dos modelos exponencial, esférico e gaussiano (CAMARGO, 2001).

Os modelos utilizados foram (GS+, 2002):

a) Esférico:

$$\gamma(h) = C_o + C [1,5 (h/a) - 0,5 (h/a)^3]$$

b) Exponencial:

$$\gamma(h) = C_o + C [1 - \exp(-h/a)]$$

c) Gaussiano:

$$\gamma(h) = C_o + C [1 - \exp(-h/a)^2]$$

d) Linear:

$$\gamma(h) = C_o + [h(C/a)]$$

e) Linear com patamar:

$$\gamma(h) = C_o + [h(C/a)] \text{ para } h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_o + C \text{ para } h > a.$$

Segundo Zimback (2001), na análise estrutural do semivariograma, além do efeito pepita (C_o), do patamar (C) e do alcance (a), outros parâmetros são fornecidos pelo programa GS+ e podem ser utilizados para posterior análise:

- Alcance Efetivo – para alguns modelos o alcance é igual ao alcance efetivo (esférico, linear e linear com patamar), para outros, como para o gaussiano e exponencial, o alcance efetivo representa $3x(\text{alcance})$ e $1,7x(\text{alcance})$, respectivamente, devido ao longo espaço de curvatura da curva (GUERRA, 1988), sendo interpretado em unidades de distância (metro, quilômetros) de alcance;
- Estrutura ou Proporção Espacial $C/(C+C_o)$ – determina quanto da variância espacial está presente na variância total da amostra, podendo ocorrer variância espacial nula (0,00), fraca (0,00 – 0,25), moderada (0,25 – 0,75) e forte ($> 0,75$);
- Soma dos Quadrados dos Resíduos (SQR) – determina o ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental. Quanto menor o valor de SQR, melhor o ajuste (ZIMMERMAN e ZIMMERMAN, 1991), porém o aplicativo Gs+ realiza essa análise para a reta toda, sendo que na verdade o que interessa é saber o valor de SQR apenas na subida da reta (região onde as amostras possuem dependência espacial);
- Coeficiente de Determinação (r^2) – indica quantos dos pontos do semivariograma experimental encontram-se na curva do modelo teórico, embora não seja considerado um bom indicativo de ajuste (GS+, 2000).

Quando o Efeito Pepita for aproximadamente igual ao Patamar, denomina-se Efeito Pepita Puro demonstrando que a amostra não recebe influência espacial (Trangmar et al., 1985), sugerindo o uso da porcentagem da semivariância do Efeito Pepita para mensurar a dependência espacial. GS+ (GS+, 2000) propõem a seguinte relação:

$$\% \text{ Dependência Espacial} = \frac{C}{C + C_o} \cdot 100$$

sendo a dependência espacial fraca para valores $\leq 25\%$; entre 25% e 75% dependência moderada e $\geq 75\%$ forte dependência.

A confirmação do modelo que fornece o melhor ajuste é efetuada por meio da escolha do modelo que apresentar o menor erro. Ajustado o modelo faz-se a interpolação de dados, técnica pela qual são geradas estimativas de dados em pontos não amostrados a partir de pontos amostrados, a validação dos dados, pela técnica da validação cruzada ou “cross-validation”, e a confecção dos mapas de isolinhas (ZIMBACK, 2001).

O conhecimento de determinada característica em locais não amostrados pode ser feita pelo método da krigagem, técnica usada na geoestatística com os pesos atribuídos de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma (Vieira et al., 1998), com base nos seus vizinhos. A krigagem comporta-se como um interpolador ótimo, pela maneira como os pesos são distribuídos, não sendo tendenciosos, apresentando variância mínima e possibilitando o conhecimento da variância da estimativa (WEBSTER e OLIVER, 1980).

Landim (1998) descreveu a krigagem como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada, a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço.

Segundo Vieira (2000) e Thompson (1992), a krigagem tem capacidade de produzir melhores estimativas em termos de interpolação, porque está embasada em duas premissas: não-tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas. Além disto, quando se trabalha considerando a dependência espacial, podem-se reduzir os erros aleatórios pelo controle de parcela deste erro associado à dependência espacial (MELLO et al., 2003). Landim (2002) apresentou uma comparação entre alguns métodos de interpolação, onde a krigagem parece ser um dos melhores (Quadro 1).

Quadro 1. Comparação entre métodos de interpolação (LANDIM, 2002)

<i>Algoritmo</i>	<i>Fidelidade aos dados originais</i>	<i>Suavidade das curvas</i>	<i>Velocidade de computação</i>	<i>Precisão geral</i>
Triangulação	1	5	1	5
Inverso da Distância	3	4	2	4
Superfície/ Tendência	5	1	3	2
Mínima Curvatura	4	2	4	3
Krigagem	2	3	5	1

Nota: 1= melhor 5=pior

A Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados, utilizando o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Com o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002).

As formas mais usuais de krigagem lineares são: simples, ordinária, universal e intrínseca (LANDIM, 1998).

A krigagem simples é a mais comum das estimações usadas na ciência do solo (BURGESS e WEBSTER, 1980), sendo a krigagem ordinária sua variação mais utilizada (ZIMBACK, 2001), descrita por Trangmar et al. (1985), com o valor interpolado $Z(x_0)$ de uma variável regionalizada Z , num local x_0 , não requerendo o conhecimento inicial da média estacionária da amostragem (Landim, 1998), requerendo que a soma dos pesos $\sum \lambda_i$ seja igual a 1 (UZUMAKI, 1994), podendo ser determinada por:

$$Z(x_0) = \sum[\lambda_i \cdot Z(x_i)]$$

onde:

$Z(x_0)$ - valor estimado para o local x_0 não amostrado;

$Z(x_i)$ - valor obtido por amostragem no campo;

λ_i - pesos aplicados em cada $Z(x_i)$, sendo gerados por um estimador BLUP (best linear unbiased predictor), descrito por Robinson (1991) como estimadores lineares não viciados e de mínima variância.

O sistema de krigagem ordinária tem solução única se o modelo de semivariograma for válido (UZUMAKI, 1994). Essa interpolação é essencialmente idêntica à regressão linear múltipla, com algumas diferenças quanto ao uso de matrizes utilizadas para resolver os sistemas (DAVID, 1988; ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).

A maneira como é feita a coleta de amostras e a sua representatividade determinam como deverá ser calculada a krigagem ordinária: pontual ou em bloco (ZIMBACK, 2001). A krigagem pontual é indicada quando a coleta é de amostras simples, isto é, quando não foram misturadas várias amostras para compor uma amostra

composta, sendo neste caso indicado a Krigagem em bloco, porque ela irá representar uma área.

Segundo Zimback (2001), como toda a subjetividade e variabilidade de resultados nos cálculos dos parâmetros do variograma, é importante que se tenha um meio para checar se o modelo ajustado é satisfatório ou não (David, 1988), bem como para validar o plano de Krigagem antes do seu uso na construção de mapas. Na comparação entre métodos de interpolação são utilizados alguns critérios, entre eles o coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados obtidos pela validação cruzada proposto por Leenaers et al. (1990).

A validação cruzada é um processo bastante simples: remove-se um dado do conjunto de dados amostrais e, usando-se um estimador e função ponderada relacionada com a distância, estima-se o valor retirado, utilizando as amostras remanescentes. Com dois valores para o mesmo ponto, o real e o estimado, o erro da estimação pode ser calculado por diferença desses valores, sendo repetido para cada local amostrado (MYERS, 1997), ressaltando-se que a estimação do valor depende do modelo variográfico escolhido, aquele que teve o melhor ajuste (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).

O módulo de Validação Cruzada do GS+ (GS+, 2000) calcula o melhor ajuste pelo método do quadrado mínimo, descrito em uma equação de regressão linear, sendo o erro padrão da estimativa definido por:

$$DP\ est. = DP\ real . (1-r^2)^{0,5}$$

onde:

DP est. – desvio padrão da estimativa;

DP real – desvio padrão dos dados atuais;

r^2 – coeficiente de determinação.

O erro padrão de estimação avalia quantitativamente o ajuste do variograma e os erros dele decorrentes na Krigagem, utilizando-se dos conceitos definidos por Davis (1987).

No gráfico da validação cruzada estão representados os valores estimados por krigagem "versus" os valores observados das taxas de detecção das variáveis analisadas. Deve-se observar duas características que são desejáveis na validação cruzada: os pontos devem estar acompanhando a diagonal traçada (reta estimada pela regressão) o mais próximo possível; e os dois lados da diagonal devem estar equilibrados

(OPROMOLLA et al., 2005). As linhas contínuas representam as funções descritas pelos dados estimados e as linhas pontilhadas representam as funções descritas pelos dados reais, quanto mais próximas as linhas, maior a coincidência entre os dados reais e estimados pela krigagem (GS+, 2000).

1.4 MATERIAL E MÉTODOS

1.4.1 Área de Estudo

A área de estudo é um fragmento de Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 1992), domínio da Mata Atlântica, localizada em General Carneiro, sudoeste do Estado do Paraná (Figura 5).

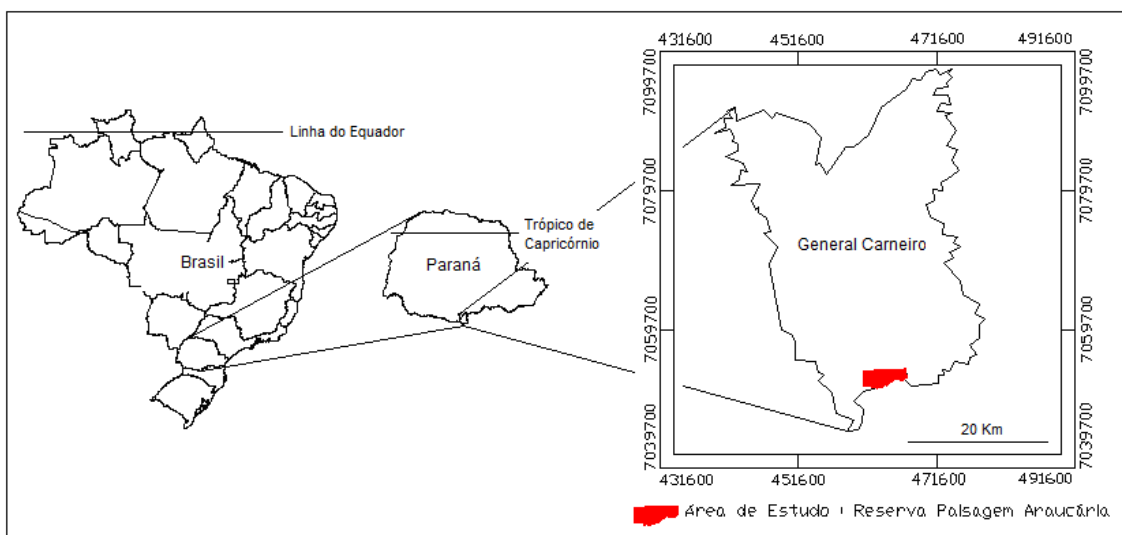


Figura 5. Mapa de Localização da área de estudo (Fuso 22 J, Datum SAD 69 Brasil)

O fragmento possui 1.153,00 ha (92 % do total) constituindo uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) denominada Reserva Paisagem Araucária Papagaio-do-peito-roxo, propriedade pertencente à ONG Preservação, com área total de 1.254,92 ha. A sede da Reserva esta localizada na Latitude 26 ° 38' 41,26760" S e Longitude 51° 22' 16,26511" W.

O clima da região é do tipo Subtropical Úmido Mesotérmico (*Cfb*), conforme classificação de Köppen, tendo os verões frescos e os invernos com ocorrência de severas geadas, não apresentando estações secas. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22° C e a dos meses mais frios superior a 18° C (PARANÁ, 1987) e altitude variando de 1.200 a 1300 m (MAACK, 1981). A precipitação

pluviométrica total anual pode variar de 1.600 a 1.800 mm, com o total anual de dias de chuva entre 118 e 146 dias. É a zona agroecológica com o maior índice pluviométrico do Estado. A umidade relativa do ar pode variar de 73 a 82%. A insolação total anual varia de 2.260 a 2.432 horas nesta sub-região (BRAGA e STEKERT, 1987). Camargo (1998) considerou o clima neste local como Temperado Semi-úmido de Altitude.

O substrato geológico da região é formado pelo derrame basálticos da formação Serra Geral (BOLETIM DE PESQUISA, 1984).

Ocorrem na região solos orgânicos e hidromórficos, com o predomínio de Neossolos Litólicos, Cambissolos e Argissolos (PARANÁ, 1987). As características topográficas dividem-se em plana, ondulada e montanhosa, sendo a última de maior predominância (EMBRAPA, 1999).

Segundo Castella e Britez (2004), o substrato geológico em General Carneiro é formado pelo Derrame de Trapp da formação Serra Geral, com predomínio de solos Litólicos e Cambissolos. Os principais usos do solo são para o reflorestamento, pastagem e agricultura de subsistência.

A partir de arquivo vetorial do Mapa de Solos do Estado do Paraná disponibilizado pelo ITCG em seu site, com sobreposição, em Sistema de Informação Geográfica, do limite da área de estudo, foi possível observar que ali ocorre uma associação de Neossolo Litólico distrófico típico com Cambissolo Háptico Tb distrófico típico, com textura argilosa, em relevo forte ondulado (20 – 45% de declividade) e Montanhoso (45 – 75%).

1.4.2 Amostragem da vegetação

Na realização dos levantamentos de campo, foi empregado o Método de Amostragem de Área Fixa (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1994). Foram instaladas 45 (quarenta e cinco) unidades amostrais (ua.) de 500 m² (10 m x 50 m), onde foram medidos e identificados todos os indivíduos com Diâmetro à Altura do Peito (DAP) superior a 10 cm, realizado em Janeiro/Fevereiro de 2007, onde todo o trabalho foi realizado por uma equipe técnica contratada pela ONG Preservação. Na figura 6 pode-se verificar a representação esquemática da unidade amostral, empregada para levantamento das áreas com vegetação natural.



Figura 6 - Representação esquemática das unidades amostrais empregadas para o levantamento.

A distribuição das ua. na floresta foi planejada de forma sistemática, visando melhor abrangência e representatividade da tipologia vegetal. No escritório gerou-se a grade amostral em um mapa digital, sendo as coordenadas importadas para um receptor GPS, utilizadas pela equipe técnica que realizou o levantamento florístico no fragmento em 2007, onde algumas unidades foram descartadas por estarem em usos do solo diferentes da floresta, pastagem e plantio de pinus, principalmente. As ua. ficaram espaçadas entre 400 – 500 m de distância e de forma irregular, em função da exclusão de algumas ua. e da dificuldade de localização das coordenadas das respectivas unidades na floresta no momento do inventário.

A classificação taxonômica utilizada na identificação das espécies seguiu o sistema proposto por APG II em 2003, apresentado em Souza (2005). Este esquema de organização, realçado pelos autores como ainda não sendo propriamente um Sistema de classificação, tem como objetivo organizar em ordem filogenética todos os táxons, da maneira mais natural e parcimoniosa possível, produzindo e compilando informações de diferentes autores (ÁRVORES de IRATI, 2006).

As estimativas dos parâmetros fitossociológicos tradicionalmente utilizados por diversos autores como Ziller (1992), Guapyassú (1994), Longhi (1980), incluem as seguintes variáveis: Densidade absoluta (DA) e Densidade relativa (DR), que são relacionadas com o número de indivíduos de uma espécie na amostra; Dominância absoluta (DoA) e Dominância relativa (DoR), que indicam a influência de cada espécie na comunidade em função de sua biomassa, expressa pela área basal dos indivíduos;

Frequência absoluta (FA) e Frequência relativa (FR), que expressam o número de ocorrências da espécie no total de unidade amostrais alocadas; Índice de valor de cobertura (IVC) e Índice de valor de importância (IVI), que demonstram a representatividade de cada espécie na comunidade, sendo o IVC, resultado da soma de DR e DoR, e o IVI, resultado da soma de DR, DoR e FR.

Para os cálculos dos descritores estruturais e qualitativos da vegetação foi utilizado o aplicativo Mata Nativa 2.10 Copyright 2001 – 2007 Cientec.

1.4.3 Amostragens e Análises de Solo

Foram realizadas amostragens para análise química de solo, análise de textura, resistência à penetração e profundidade, com coletas realizadas em novembro de 2009.

Os locais de coleta de solo foram instalados o mais próximo possível ao ponto georreferenciado com receptor GPS de navegação, modelo 12 da Garmin, na localização das unidades amostrais - ua. (10 x 50 m – 500 m²) utilizadas no levantamento fitossociológico realizado no fragmento em 2007, ponto este realocado pelo modo “Go To”, (“ir para”) do receptor GPS, sendo o arquivo de dados disponibilizado pela ONG Preservação, totalizando 45 locais de coleta (45 ua.).

Na coleta, foram utilizados três locais distintos de tomada de informação, no entorno de cada ponto localizado, com a diferença de que para as análises química e granulométrica foram amostradas duas camadas, de 0 - 20 e 60 - 80 cm de profundidade (quando possível, ou inferior), pelo fato da área ser floresta nativa e não uma cultura agrícola, e, para resistência a penetração e profundidade, foram feitas três observações pontuais para cada atributo no entorno do ponto localizado.

A mais simples informação coletada foi a profundidade do solo (Figura 7), pois optou-se por cravar no solo, com uma marreta, uma haste de metal de 10 mm de espessura média e 1,50 m de comprimento, até que atingisse a rocha, medindo-se então a diferença da haste que ficou para fora do solo (solo com perfil inferior a 1,40 m), ou até que a haste chegasse ao seu final (solo com perfil superior a 1,40 m).



Figura 07 – Mensuração da profundidade do solo

Para resistência à penetração (RP) foi utilizado um Penetrômetro de impacto agrícola – modelo de Stolf (Figura 8), com padronização de 5 batidas por local de coleta. Ambas informações foram anotadas numa caderneta de campo. A medida é feita através do impacto de um peso que cai de uma altura constante, em queda livre, sobre uma haste, fazendo dessa forma, que ela penetre no solo. Conta-se o número de impactos necessários para que o aparelho penetre a uma determinada profundidade (STOLF et al., 1983), sendo necessária uma transformação de dados. A transformação da penetração da haste do penetrômetro no solo (cm impacto^{-1}) em resistência à penetração é obtida pela expressão dos “holandeses” simplificada por Stolf (1991), utilizando o programa para cálculo da resistência do solo do penetrômetro de impacto (SCS-IAC), fornecido junto com o aparelho:

$$RP = \frac{Mg + mg + ((M/(M + m)) \cdot ((Mg \cdot h)/x))}{A}$$

onde:

RP – resistência à penetração (Kgf cm^{-2});

M – massa do êmbolo (4 Kg) ($Mg = 4 \text{ Kgf}$);

m – massa do aparelho sem o êmbolo (40 cm);

h – altura de queda do êmbolo (40 cm);
 A – área do cone (1,29 cm²).

Os valores de RP (Kgf cm⁻²) são transformados em MPa multiplicando-se pelo fator de 0,098.



Figura 08. Medida da resistência à penetração do solo

Para as demais coletas foi utilizado um trado holandês de 80 cm de profundidade (Figura 09).

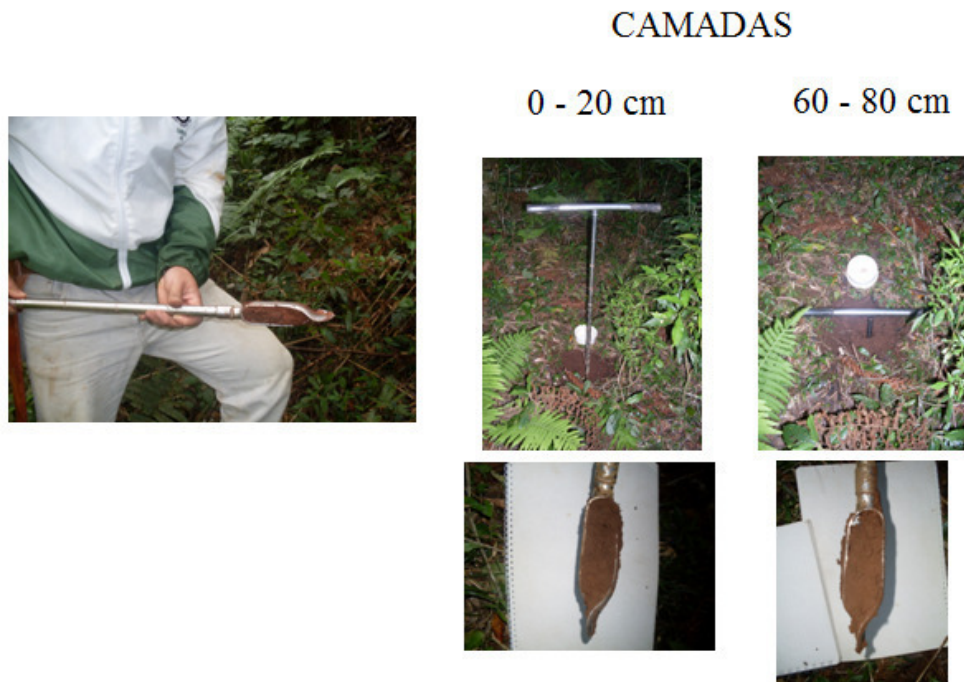


Figura 09 – Coleta de amostras de solo, com trado holandês, para análises químicas e granulométricas

No campo, o solo coletado foi colocado em saco plástico, com a amostra identificada, e armazenado em mochila para proteger do sol e evitar perda de umidade, até a determinação desta em balança de precisão, marca Bel Engineering modelo Mark 2200, no final de cada dia de coleta. As amostras de solo para análise química foram secas a sombra e enviadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do DRN – Ciências do Solo, na Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, FCA-UNESP, onde analisou-se macronutrientes, M.O., pH, Al^{3+} , S e H+Al, obtendo-se valores para CTC, SB e V%, segundo metodologia descrita por (RAIJ et al., 2001).

Após pesadas as amostras de solo para análise textural foram retiradas do saco plástico e colocadas em saco de papel, para facilitar a perda de umidade e levadas à estufa, marca Nova Ética modelo 400/9D, a 105° C com circulação de ar forçada por 24 horas, pois foram também utilizadas para determinar a umidade média do solo em cada ua., dados que pode auxiliar na explicação dos resultados da resistência à penetração, com posterior destorroamento e moagem. As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Agronomia, Campus CEDETEG na UNICENTRO, pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997), figura 10, conhecido também como método do hidrômetro, proposto em 1926 por Bouyoucos, que baseia-se no princípio de que a matéria em suspensão (silte e argila) confere determinada densidade ao líquido, que com a ajuda de um densímetro, Bouyoucos relacionou as densidades com o tempo de leitura e com a temperatura, calculando com esses dados a porcentagem das partículas. Para as amostras 035 (solo hidromórfico) e 045, devido a pequena quantidade de solo coletado, utilizou-se o método da pipeta (EMBRAPA, 1997), que é especialmente indicado para a determinação da argila, podendo determinar também a fração silte. É um método de sedimentação, utilizando pipeta para retirar uma alíquota a profundidade e em tempo determinados, sendo mais preciso e mais demorado.

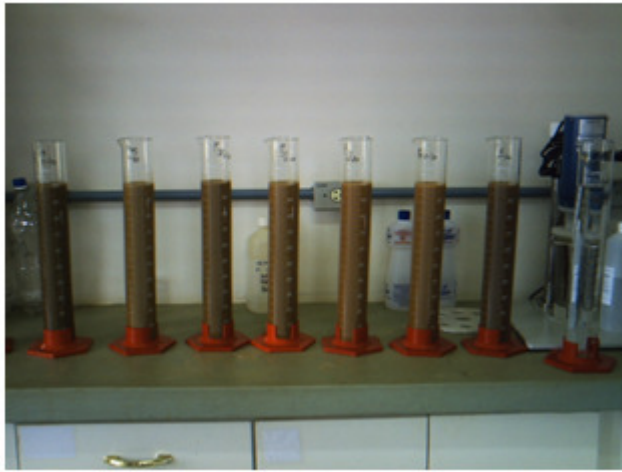


Figura 10 – Análise granulométrica do solo pelo método do densímetro

Ainda no campo, foram novamente georreferenciadas as unidades amostrais, com mudanças de alguns pontos em relação ao levantamento fitossociológico, levando a constituição de uma grade amostral com distribuição irregular, ilustrada na figura 11.

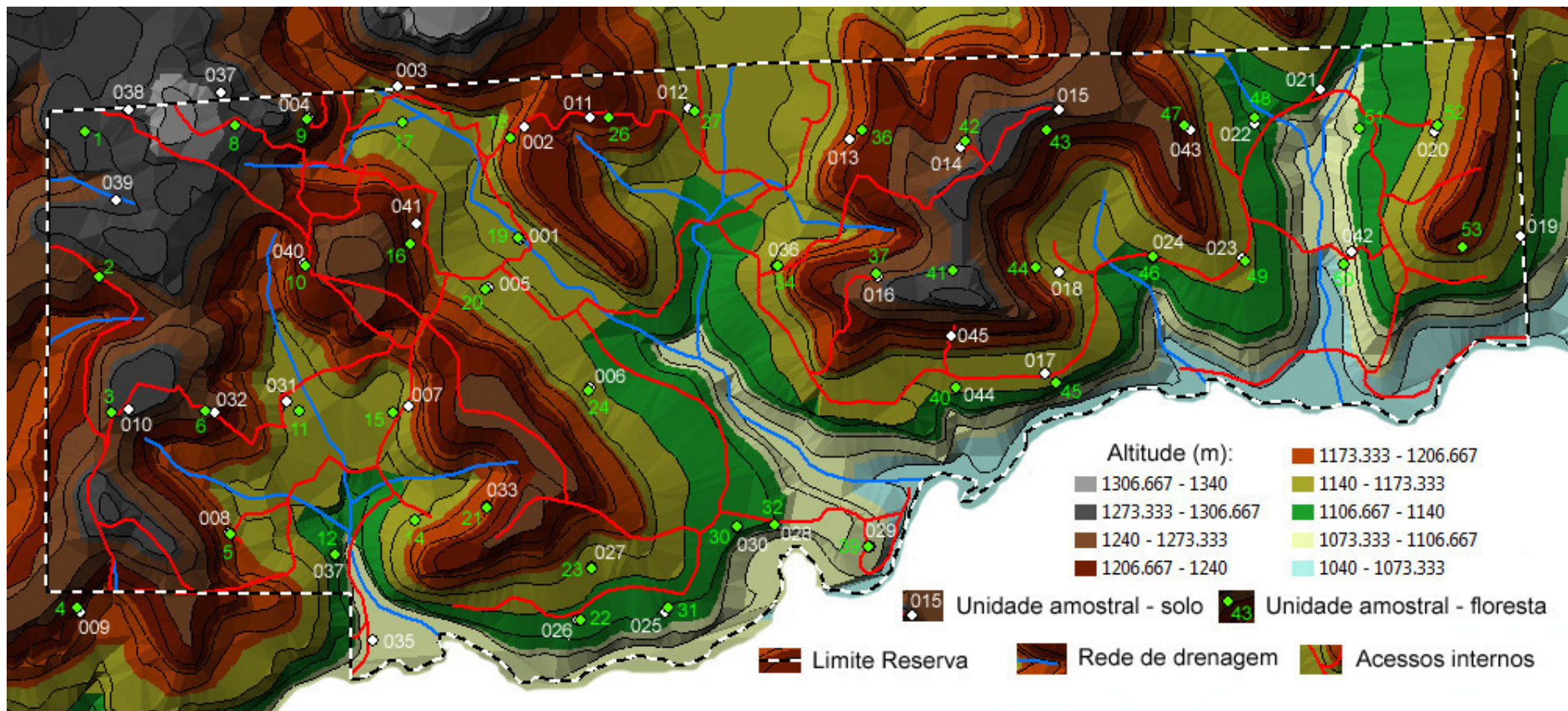


Figura 11. Distribuição dos pontos que representam as unidades amostrais na amostragem da floresta e do solo

1.4.4 Procedimentos computacionais

As coordenadas obtidas no campo foram descarregadas do receptor GPS para o computador utilizando o aplicativo Track Maker[®] Versão Profissional 3.8 (Copyright[©] 1998-2004) desenvolvido por Odilon Ferreira Júnior, de onde gerou-se a tabelas de coordenadas para cada unidade amostral, com os respectivos dados das variáveis da floresta e dos atributos do solo, compondo uma planilha eletrônica no Excel da Microsoft[®] Excel 2003 (Copyright – Microsoft Corporation), onde realizou-se a estatística descritiva para os dados, sendo importada para o aplicativo GS+ versão 7.0, (Copyright[©] 1989-2004) desenvolvido por Gamma Design Software, realizando os procedimentos de análise variográfica, validação cruzada e interpolação dos dados (GS+, 2000). Esses procedimentos foram bem descritos por Zimback (2001), que gerou um fluxograma, para a elaboração de mapas de isoelementos pela técnica da krigagem, apresentado na figura 12, o qual, orientou este trabalho.

A estatística descritiva, como análise preliminar dos dados, tem o objetivo de conhecer a variável em estudo e resumi-lá, para posterior análise espacial. O cálculo de estatísticas como a média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, moda e mediana, colaboram na descrição da variável.

Na análise espacial, escolha dos modelos, na geração do semivariograma, foi realizada com base na menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR), na classe de dependência espacial conforme Zimback (2001), e nas condições das retas dos dados reais e estimados na validação cruzada. Segundo Guimarães (2004), no ajuste do modelo a sensibilidade do usuário é muito mais importante do que os valores de SQR e r^2 e, portanto, tentativas de ajustes diferentes ao proposto pelo programa devem ser utilizadas, mesmo que isso cause queda no valor de r^2 e acréscimo no valor de SQR. A qualidade dos ajustes dos semivariogramas aos dados experimentais podem ser verificados por vários métodos, onde Vieira et al. (1983), sugeriram o método de ajuste por tentativa e erro (ajuste a critério do observador) associado à avaliação do modelo pela técnica da validação cruzada ou autovalidação.

Para Guimarães (2004), a validação cruzada deve ser feita com base em todos os parâmetros e não com base em parâmetros isolados e Ortiz et al. (2010), complementam que nem sempre o modelo que apresenta menor efeito pepita é o que melhor se ajusta aos dados pela validação cruzada.

FLUXOGRAMA DA CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE ISOELEMENTOS

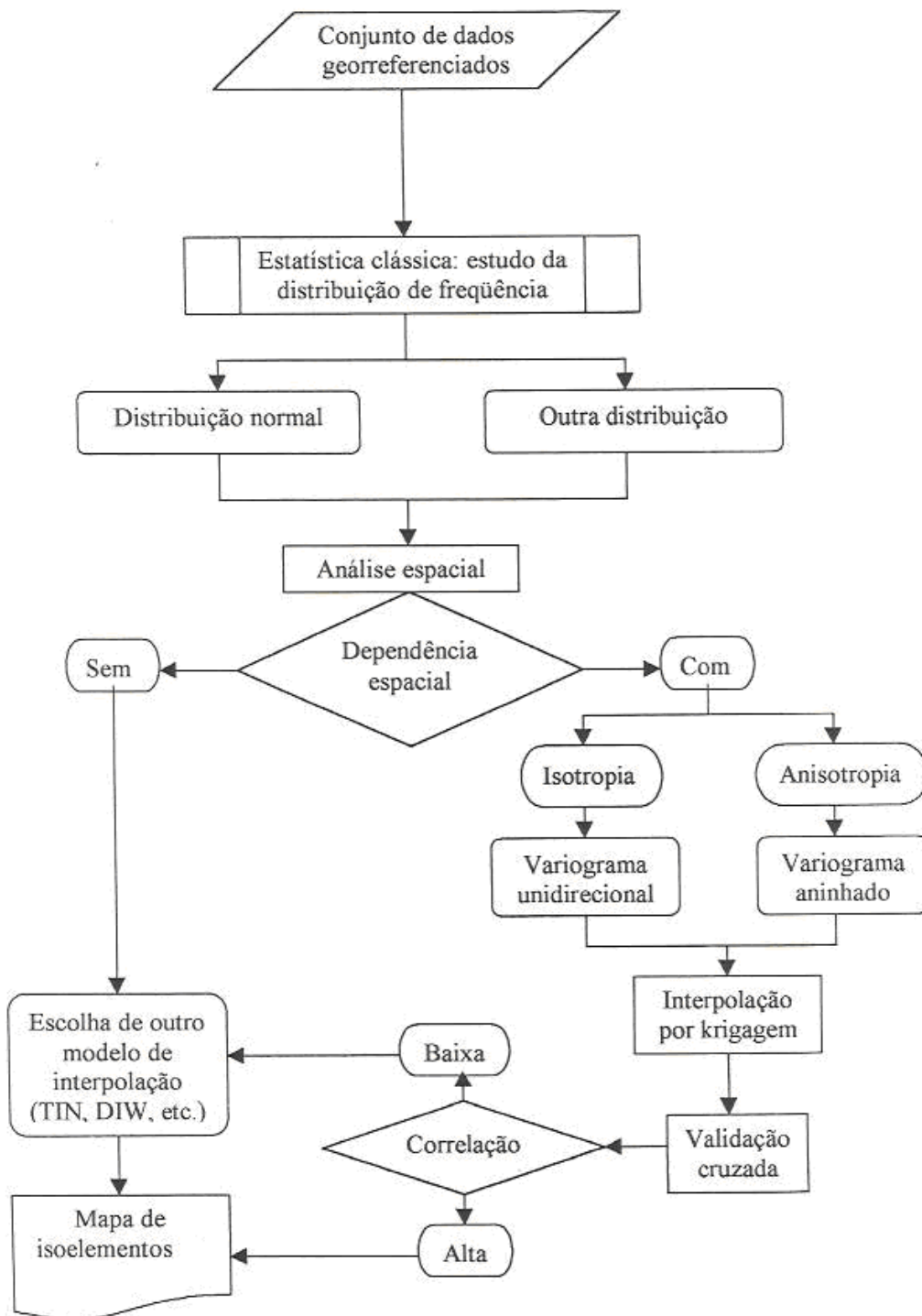


Figura 12. Fluxograma para construção de mapas de isovalores (ZIMBACK, 2001, adaptado)

Para melhor orientar as avaliações dos resultados obtidos nas diferentes análises realizadas, propôs-se a convenções expressas nos quadros 2 e 3.

Quadro 2 – Indicadores e parâmetros sugeridos para avaliação da utilização da geoestatística na caracterização da vegetação em fragmento de FOM, com base nos dados coletados

CONDIÇÃO DOS DADOS	Estadística Descritiva	Ajustes dos Semivariogramas				Validação Cruzada			Mapa de Isovalores
	Variância da Amostra*	SQR*	C/C ₀ +C ¹	Alcance (m)*	Reta e Pontos ²	SE *	Retas ³	Pontos em relação às Retas ⁴	Mudança de Valores ⁵
SATISFATÓRIA	Baixa - Intermediária (0,0075 – 14,4465)	Baixo – Médio (3,445E-07 – 25,80)	Moderada - Forte (0,75 – 1,00)	Médio – Longo (770,76 – 2784,00)	Sobreposição da reta sobre os pontos na região da “subida da curva”	Baixo – médio (0,060 – 3,098)	Sobrepostas a pouco inclinadas	Distribuição concentrada a equilibrada	Gradativas, valores contínuos
Ótima	Baixa (0,0075 – 0,1496)	Baixo (3,445E-07 – 1,229E-03)	Forte (1,00 – 0,75)	Longo (2784,00 – 1179,00)	Muitos pontos com sobreposição da reta	Baixo (0,060 – 0,960)	Sobrepostas com pequena inclinação	Distribuição equilibrada ao longo das retas com sobreposição dos pontos pela mesma	Gradativa sem formação de curvas com ângulos retos
Boa	Intermediária (1,0374 – 14,4465)	Médio (1,229E-03 – 25,80)	Moderada (0,25 – 0,75)	Médio (770,76 – 1044,00)	Poucos pontos sobrepostos pela reta e muitos pontos próximos a reta	Médio (2,557 – 3,098)	Parcialmente sobrepostas com inclinação	Distribuição concentrada em uma região ao longo da reta com pontos próximos a mesma	Gradativa com pouca formação de curvas ângulos retos
INSATISFATÓRIA	Alta (118,0095 – 182,1364)	Alto (25,80 - 6307)	Nula - Baixa (0,00 – 0,25)	Curto (237,29 – 514,00)	Poucos pontos distantes da reta	Alto (10,757 – 13,390)	Inversamente proporcionais ou muito inclinadas	Distribuição não equilibrada ao longo da reta e pontos distantes	Abrupta

Nota: * Classes de valores baseadas nos resultados obtidos em função dos dados observados na floresta; ¹ Classes de valores conforme Guerra (1998); ² Orientação pessoal sobre uso do software GS+ no DRN-Ciências do Solo pela Prof. Célia Zimback; ³ Adaptado de Guimarães (2004); ⁴ Adaptado de Opromolla et al. (2005); ⁵ adaptado de Zimback (2001);

Quadro 3 – Indicadores e parâmetros sugeridos para avaliação da utilização da geoestatística na caracterização do solo em fragmento de FOM, com base nos dados coletados

CONDIÇÃO DOS DADOS	Estadística Descritiva	Ajustes dos Semivariogramas				Validação Cruzada			Mapa de Isovalores
	Variância da Amostra*	SQR*	C/C ₀ +C ¹	Alcance (m)*	Reta e Pontos ²	SE *	Retas ³	Pontos em relação às Retas ⁴	Mudança de Valores ⁵
SATISFATÓRIA	Baixa - Intermediária (0,0023 – 120,60)	Baixo – Médio (2,397E-07 – 4,78)	Forte - Moderada (1,00 – 0,25)	Médio – Longo (575,04 – 3411,00)	Sobreposição da reta sobre os pontos na região da “subida da curva”	Baixo – médio (0,021 – 12,889)	Sobrepostas a pouco inclinadas	Distribuição concentrada a equilibrada	Gradativas, valores contínuos
Ótima	Baixa (0,0023 – 2,63)	Baixo (2,397E-07 – 1,610)	Forte (1,00 – 0,75)	Longo (3411,00 – 1704,00)	Muitos pontos com sobreposição da reta	Baixo (0,021 – 5,110)	Sobrepostas com pequena inclinação	Distribuição equilibrada ao longo das retas com sobreposição dos pontos pela mesma	Gradativa sem formação de curvas com ângulos retos
Boa	Intermediária (2,63– 120,60)	Médio (1,610 – 4,78)	Moderada (0,75 – 0,25)	Médio (1704,00 – 575,04)	Poucos pontos sobrepostos pela reta e muitos pontos próximos a reta	Médio (5,110 – 12,889)	Parcialmente sobrepostas com inclinação	Distribuição concentrada em uma região ao longo da reta com pontos próximos a mesma	Gradativa com pouca formação de curvas ângulos retos
INSATISFATÓRIA	Alta (174,95 – 19623,22)	Alto (135,00 – 1,05E+09)	Nula - Baixa (0,25 – 0,00)	Curto (414,00 – 575,04)	Poucos pontos distantes da reta	Alto (24,500 – 109,91)	Inversamente proporcionais ou muito inclinadas	Distribuição não equilibrada ao longo da reta e pontos distantes	Abrupta

Nota: * Classes de valores baseadas nos resultados obtidos em função dos dados observados na floresta; ¹ Classes de valores conforme Guerra (1998); ² Orientação pessoal sobre uso do software GS+ no DRN-Ciências do Solo pela Prof. Célia Zimback; ³ Adaptado de Guimarães (2004); ⁴ Adaptado de Opromolla et al. (2005); ⁵ adaptado de Zimback (2001);

Esses indicadores e parâmetros foram utilizados para sistematizar a descrição do comportamento das variáveis florestais e dos atributos do solo durante o processamento dos dados (estatística descritiva, ajuste do semivariograma, validação cruzadas e elaboração de mapas de isovalores ou isolinhas), caracterizando a condição dos dados que até então não havia nada sistematizado desta forma na literatura.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. Methods for as-sessing soil quality. Madison: **Soil Science Society of America**, p.123-141. 1996.

ÁRVORES DE IRATI. Notícias: Árvores de Irati adota o APG. Disponível em: <<http://www.arvoresdeirati.com>>. Acesso em: 22 de set. de 2006.

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.

BRAGA, H. J., STEKERT, R. **Estimativa de horas de frio abaixo de 7,2°C e 13,0°C para 10 locais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Empasc, 1987. (Empasc. Documentos, 90).

BOLETIM DE PESQUISA, **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: n. 27, t. 1 e 2, 1984.

BURGESS, T.M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. **Journal Soil Science**, 31, 1980. p.315-331.

CAMARGO, J. B. **Geografia física, humana e econômica do Paraná**. 2. ed. Chichetec: [s.n.], 1998. 207 p.

CAMARGO, E.C.G. **Geoestatística: Fundamentos e aplicações**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em 22 jan. 2010.

CAMPOS, B. C. de; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./abr. 1995.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ; EMBRAPA-SPI, 1994. 640p.

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R. M. de (Org.). **A floresta com araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 236p.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZZETTI, S. Alterações nas propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, out./dez. 1999.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied Science, 1979. 129 p.

COOTE, D.R.; RAMSEY, J.F. Quantification of the effects of over 35 years of intensive cultivation on four soils. Can. **Journal Soil Science**, n.63. p.1-14. 1983.

DAVIS, B. M. **Uses and abuses of cross-validation in geostatistics**. Math. Geol., v. 19, p.241-248, 1987.

DAVID, M. **Handbook of applied advanced geostatistical ore sererve estimation.** New York: Elsevier, 1988. 216p.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de Classificação de solos.** Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual de métodos de análises de solo.** 2º ed. Rio de Janeiro: CNPS. 1997. 212p.

GODEFROY, J.; JACQUIN, F. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et le apports organiques en conditions tropicales;comparasion avec les sols forestiers. **Fruits**, n.30. p. 595-612. 1975.

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

GRANT, C. A.; LAFOND, G. P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 2, p. 223-232. 1993.

GS+. **GS+ Geostatistical for environmental science.** Versão 5.0, Michigan: Gamma Design Software, 2000.

GUAPYASSÚ, M.S. **Características fitossociológicas de três fazes sucessionais de uma Floresta Ombrófila Densa Submontana, Morretes - Paraná.** Curitiba, 1994. 165f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística Operacional.** Brasília: DNPM, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. UFU/FAMAT, Uberlândia, 2004. 77p.

HERRMANN, J.C.; BERNARDI, J.V.E.; BASTOS, W.R.; LACERDA, L.D. Dispersão espacial x amostragem pontual: A geoestatística como ferramenta de análise do Mercúrio em solos de Rondônia, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p.131-138. 2009.

IBGE. **Distribuição Regional da Vegetação Natural**. In: Mapa da Área de Ampliação da Lei nº. 11.428 de 2006. IBGE, Diretoria de Geociências, mapa na escala 1: 5.000.000, 1ª. Edição, 2008. CD-RON.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p.

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

JAKOB, A.A.E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. IN: XIII ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS. 13., Ouro Preto. **Anais....** Ouro Preto, 2002.

KIRDA, C.; HARDARSON,G.; ZAPATA, F.; REICHARDT, K. Spatial variability of root zone soil water status and of fertilizer N uptake by forage crops. **Soil Technology**, v.1, p.223-234. 1988.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 226p.

LANDIM, P.M.B.; MONTEIRO, R.C.; CORSI, A.C. **Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer**. Texto Didático 8, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002, 20p.

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

LEENAERS, H.; OHX, J. P.; BURROUGH, P. Comparison spatial prediction methods for mapping floodplain soil pollution. **Catena**, v. 17, 1990. p.535-550.

LEITE, P.F. As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil. Proposta de classificação. Curitiba, 1994. 160 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. Vegetação. In: **IBGE. Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990, p.113-150.

LONGHI, S.J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no sul do Brasil**. 1980. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2a ed. Rio de Janeiro. José Olympio, 1981.

MAACK, R. Mapa fitogeográfico do estado do Paraná. Curitiba: IBPT-SAIC/INP. **Um mapa 115 x 80 cm**. 1:750.000. 1950.

MATHERON, G. **Principles of geostatistics**. Econ. Geol., 58:1246-1266, 1963.

McBRATNEY, A.B. WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v. 37, n. 4, p. 617-639, 1986.

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p.925-933. 2003.

MYERS, J.C. **Geostatistical error management**. Qualifying uncertainty for environmental sampling and mapping. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997. 571p.

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

OPROMOLLA, P.A.; DALBEN, I.; CARDIM, M. Análise da distribuição espacial da hanseníase no Estado de São Paulo, 1991-2002. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 8, n. 4, dez. 2005.

ORTIZ, G.C.; PIEDADE, S.M.S.; OLIVEIRA, M.C.N. **Ajuste de modelos teóricos ao semivariograma experimental para dados de densidade do solo**. Disponível em: <<http://www.posgraduacao.ufla.br/gauss/congresso/47rbras/g4.pdf>>. Acesso 05 de mar. de 2010.

PARANÁ. Secretária de Estado de Agricultura e Abastecimento, Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**, Curitiba, 1987. 73 p.

PELLICO NETTO, S; BRENA, D. A. **Metodologia para determinação de intensidade amostral em Inventários Florestais Contínuos com Dupla Amostragem**. In: VII Congresso Florestal Brasileiro e I Panamericano, 1994, Curitiba. Anais do VII Congresso Florestal Brasileiro e I Panamericano, 1994. v. 1. p. 525-527.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

REICHARDT, K.; BACCHI, O.S.; VILLAGRA, M.M.; TURATTI, A.L.; PEDROSA, Z.O. Hydraulic variability in space and time in a dark red latosol of the tropics. **Geoderma**, v. 60, 1993. p.159-168.

REIS, A. A vegetação original do estado de Santa Catarina. In: **Caracterização de estádios sucessionais na vegetação catarinense**. Florianópolis: UFSC, 1995. p.3-22.

ROBINSON, G.K. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. **Stat. Sci.**, v.6, 1991. p.15-51.

RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S.; GALVÃO, F. As regiões fitogeográficas do estado do Paraná. **Acta For. Bras**, Curitiba, n. 1, 1993. p.1-6.

RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência e Ambiente**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, n. 24, p. 75-92, jan/jun 2002.

SCHUMACHER, M.V.; HOPPE, J.M. **A floresta e o solo**. Porto Alegre: Pallotti, 1999. 83p.

SCOPEL, I. et al. Riscos de compactação do solo na produção florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Universidade Federal de Viçosa, 1992. p. 172-193.

SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R.; PASSOS, C. A. M.; COUTO, L. Viabilidade do reflorestamento do eucalipto consorciado com a cultura do feijoeiro um estudo de caso. **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.4, 1997. p.527-535.

SIRTOLI, A. E. [et. al.]. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo**: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba - PR: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, Marcelo Ricardo de Lima Editor, 2006, 341p.

SHOUSE, P.J.; RUSSELL, W.B.; BURDEN, D.S.; SELIM, H.M.; SISSON, J.B.; VAN GENUCHTEN, M.T. Spatial variability of soil water retention functions in a silt loam soil. **Soil Science**, v. 159, p.1-12. 1995.

SOUZA, V. C.. **Botânica Sistemática guia ilustrado para identificação das Famílias de Angiospermas da flora Brasileira**, baseado em APG II Vinícius Castro Souza, Harri Lorenzi. – Nova Odesa Instituto Plantarum, 2005.

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.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35. 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. STAB. **Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 1, n. 3, p.18-23, jan./fev. 1983.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, n. 38, p 45-94. 1985.

THOMPSON, S.K. **Sampling**. New York, Wiley-Interscience Publication, 1992. 343p.

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, 2003. p. 59-73.

UZUMAKI, E.T. **Geoestatística multivariada: Estudo de métodos de predição**. Campinas, 1994. 104f. Dissertação (Mestrado em Estatística) Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP, Campinas.

VALENTE, J.M.G.P. **Geomática – lições de geoestatística**. Ouro Preto: Ed. Da Fundação Gorceis, 1989. 8v.

VAN ES, H.M.; VAN ES, C.L. Spatial nature of randomization and its effect on the outcome of field experiments. **Agronomy Journal**, v. 85, p.421-428, 1993.

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

VIEIRA, S.R.; CASTRO, O.M.; TOPP, G.C. Spatial variability of soil physical properties in three soils of São Paulo, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, 1992. p.333-341.

VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I.C. **Uso de geoestatística no mapeamento de atributos de solo e planta**. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMERICA LATINA. GIS BRASIL 98, 4., 1998, Curitiba. Anais. Curitiba: 1998, CD-ROM.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 31, n. 3, 1983. 75 p.

WATZLAWICK, L. F.; ALBUQUERQUE, J. M.; SILVESTRE, R.; VALÉRIO, A. F. Projeto Sistema Faxinal: implantação de um sistema de parcelas permanentes. In: SANQUETTA, C. R. **Experiências de Monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de Parcelas permanentes**. Curitiba, Funpar, 2008. p. 177-210

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1980. 316p.

WOJCIECHOWSKI, J.C.; SCHUMACHER, M.V.; PIRES, C.A.F.; MADRUGA, P.R.A.; KILCA, R.V.; BRUM, E.J.; SILVA, C.R.S.; VACCARO, S.; RONDON NETO, R.M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de Floresta e Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 383-391, out.-dez., 2009.

ZILLER, S R. **Análise fitossociológica de caxetais**. Curitiba: 1992. 101f. Discertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento de fertilidade do solo.** Botucatu, 2001. 114f.Tese (Livre Docência na Disciplina de Levantamentos de Solos e Fotopedologia), Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu.

ZIMBACK, C.R.L. **Apostila de cartografia.** Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/intranet/arquivos/Apostila%20Cartografia.pdf>>. Acesso em: 28 de out. de 2009.

ZIMMERMAN, D. L.; ZIMMERMAN, M. B. A comparison of spatial semivariogram estimators and corresponding ordinary kriging predictors. **Technometrics**, v. 33, p.77-91, 1991.

2 CARACTERIZAÇÃO DE FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA UTILIZANDO GEOESTATÍSTICA

RESUMO

A Floresta Ombrófila Mista pela sua exuberância e grande disponibilidade de madeira foi explorada desde a época do Brasil colônia até os dias atuais, sendo bem representado pelo fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária Papagaio-do-peito-roxo, em General Carneiro-PR, com 1153 ha. O objetivo deste trabalho foi usar a geoestatística, técnica da krigagem, na elaboração de mapas temáticos, para caracterizar o fragmento, estudando o comportamento espacial de variáveis obtidas em um levantamento fitossociológico, realizado em 2007, com 45 ua. de 500 m², onde foi mensurado indivíduos com DAP \geq 10 cm. O fragmento passou por ciclos de exploração de madeira, erva-mate, xaxim, pastoreio, coleta de sementes, sendo posteriormente transformado em Reserva Particular do Patrimônio Natural. A floresta encontra-se em regime de distúrbio (perda da matriz florestal e alta densidade de taquara) devido a intensa extração de madeira, que findou-se a menos de dez anos. Os resultados obtidos foram satisfatórios para o número de espécies, Índice de diversidade de Shannon, de dominância de Simpson e de equabilidade de Pielou, número de indivíduos de *Dicksonia sellowiana*, *Mimosa. scabrella* e *Ilex paraguariensis*, biomassa arbórea total acima do solo e carbono total, e insatisfatórios para área basal (G) e número de indivíduos por ua. Os índices apresentaram os melhores resultados, por não sofrerem grande influência dos distúrbios da floresta, em relação as demais variáveis, sendo Shannon o melhor, devido a baixa variância das amostras de 0,1496, baixo SQR de 6,497E-03, forte dependência espacial (87%), alcance de 1975,00 m, baixo erro padrão estimado de 0,279, condições satisfatórias na validação cruzada, resultando em um mapa com mudança gradativa de valores, considerado ótimo, representando o comportamento da floresta. Conclui-se que a geoestatística mostrou grande potencial na caracterização da floresta, considerando a dependência espacial no comportamento de suas variáveis, diferentemente da estatística clássica que considera a variância aleatória.

Palavras-chave: Floresta com Araucária; Fragmento Florestal; Krigagem Ordinária; Mapeamento Florestal.

ABSTRACT

The Mixed Ombrophilous Forest, for his exuberance and wide availability of wood has been exploited since the time of colonial Brazil until today, being well represented by the forest fragment of Reserva Paisagem Araucária Papagaio-do-peito-roxo, em General Carneiro,PR, with 1153 ha. The objective of this work was to use geoestatística, kriging technique in the preparation of thematic maps, to characterize the fragment, studying the spatial behavior of variables obtained in a phytosociological survey, conducted in 2007, with 45 sample units of 500 m², where he was measured

individuals with DBH \geq 10 cm. The fragment went through cycles of timber, yerba mate, tree fern, grazing, seed collection, were then transformed into a Private Natural Heritage Reserve. The forest is in the disturbance system (loss of natural forests and high density of bamboo) due to intensive logging, which ended up less than ten years. The results were satisfactory for the number of species, Shannon diversity index, Simpson dominance, and Pielou evenness, number of individuals of *Dicksonia sellowiana*, *Mimosa scabrella* and *Ilex paraguariensis*, total tree biomass above ground and total carbon, and unsatisfactory for basal area (G) and number of individuals per sample units. The indices showed the best results, do not suffer greatly influenced by disturbances of the forest, compared with other variables, Shannon index being the best, due to the low variance of samples of 0.1496, low sum of squared residuals (6.497 E-03), strong spatial dependence (87%), range of 1975.00 m, lower estimated standard error of 0.279, satisfactory cross-validation, resulting in a map with gradual change of values considered optimal, representing the behavior of the forest. It is concluded that geostatistics showed great promise in the characterization of the forest, considering the spatial dependence in the behavior of its variables, unlike the classical statistics which considers the random variance.

Keywords: Araucaria Forest; Forest Fragment; Ordinary Kriging; Forestry Mapping.

2.1 INTRODUÇÃO

A vegetação natural na região de General Carneiro-PR refere-se a Floresta Ombrófila Mista ou floresta com araucária IBGE (1992), estando no Planalto de Palmas ITCG (2008), integrante do Terceiro Planalto, Floresta que ocupava originalmente 40% da extensão territorial do Estado do Paraná, (CARVALHO, 1994).

Na realização do projeto de Conservação do Bioma Floresta com Araucária, Castela et al. (2001) descreveram a Floresta Ombrófila Mista Montana da região de General Carneiro, em três estágios de sucessão: o inicial, intermediário e o avançado. No estágio inicial, os autores acima referenciados observaram as seguintes espécies: *Casearia obliqua*, *Cedrela fissilis*, *Mimosa scabrella*, *Piptocarpha angustifolia*, *Schinus terebinthifolius*, *Zanthoxylum rhoifolium*, *Clethra scabra*, *Ocotea porosa*, *Prunus sellowii*, *Ilex paraguariensis*, *Rapanea ferruginea*, *Sapium glandulatum* e *Piptocarpha axillaris*. A floresta no estágio médio, na maior parte dos fragmentos estudados foi observado a ocorrência de *Araucaria angustifolia*, porém com baixa frequência, sendo as principais espécies observadas: *Casearia decandra*, *Cedrela fissilis*, *Clethra scabra*, *Ilex brevicuspis*, *Ilex theezans*, *Jacaranda puberula*, *Litharea brasiliensis*, *Matayba elaeagnoides*, *Mimosa scabrella*, *Ocotea porosa*, *Piptocarpha angustifolia*, *Piptocarpha axillaris*, *Prunus sellowii*, *Rapanea ferruginea*, *Rapanea umbellata*, *Sapium*

glandulatum, *Sebastiania brasiliensis*, *Slonea lasiocoma*, *Syagrus romanzoffiana*, *Symplocos celastrine*, *Tibouchina sellowiana*, *Vernonia discolor* e *Zanthoxylum rhoifolium*. Já no estágio avançado da floresta, os autores encontraram a *Araucaria angustifolia* ocorrendo no estrato dominante juntamente com outras espécies. As principais espécies encontradas foram *Campomanesia xanthocarpa*, *Cupania vernalis*, *Ilex brevicuspis*, *Matayba elaeagnoides*, *Mimosa scabrella*, *Ocotea porosa*, *Ocotea pulchella*, *Podocarpus lambertii*, *Prunus sellowii*, *Rapanea* sp. e *Slonea lasiocoma*.

A exploração madeireira na Floresta Ombrófila Mista iniciou-se quando a coroa portuguesa descobriu o potencial que oferecia a madeira do Pinheiro (*Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze) (SANQUETTA e TETTO, 2000). Desde então, a Floresta Ombrófila Mista vem sendo pressionada pelo processo de colonização do sul do país, o que causou a exploração madeireira e expansão das áreas agrícolas sobre essa tipologia florestal e a progressiva redução das florestas com Araucária (FUPEF, 1978).

Nesse período todo o desmatamento reduziu a área de floresta paranaense a fragmentos esparsos, os quais geralmente encontram-se alterados e, por consequência, empobrecidos em sua composição florística original. Apesar disso, devem ser considerados como valiosos recursos naturais renováveis, passíveis de utilização tanto pelas presentes como para as futuras gerações (FUPEF-CNPQ, 2001).

Atualmente muito desses fragmentos remanescentes vêm sendo estudados quanto a suas características florísticas e estruturais (RONDON NETO et al., 2002). Silva e Scariot (2003) afirmaram que os estudos fitossociológicos, florísticos e estruturais de remanescentes são importantes, para a adoção de critérios e metodologias visando o manejo, conservação e recuperação dos mesmos.

A fitossociologia é o estudo das comunidades vegetais do ponto de vista florístico, ecológico, corológico (distribuição geográfica dos organismos) e histórico, conceito mundialmente aceito, apresentado por Guinochet, Lebrun e Molinier, no Congresso Internacional de Botânica de Paris, em 1954 (MARTINS, 1989). Para Rodrigues e Gandolfi (1998), a fitossociologia é o ramo da ecologia vegetal que procura estudar, descrever e compreender essa associação de espécies vegetais na comunidade, que por sua vez caracterizam as unidades fitogeográficas, como resultado das interações destas espécies entre si e com o seu meio.

O estudo e o levantamento florístico e da fitossociologia de uma floresta representa o passo inicial para o seu conhecimento e posterior conservação, pois associado à sua estrutura e dinâmica pode-se construir uma base teórica que subsidie a

conservação dos recursos genéticos, a conservação de áreas similares e a recuperação de áreas ou fragmentos florestais degradados, contribuindo substancialmente para o manejo mais adequado da região (VILELA et al., 1993; CUSTÓDIO FILHO et al., 1994; GILHUIS, 1986).

A alometria é uma técnica muito utilizada na área florestal para diversas finalidades, visando obter variáveis de difícil mensuração através de uma variável de fácil obtenção, como é o caso da biomassa e do teor de carbono, pois envolvem o método destrutivo, além de ser muito trabalhoso e oneroso, principalmente quando se trata de grandes áreas. Os modelos mais utilizados são aqueles que utilizam técnicas de regressão, relacionando variáveis de difícil obtenção (biomassa e carbono total), com variáveis de fácil obtenção (DAP e altura), para árvores. Esse é o princípio da alometria, que consiste em relacionar duas ou mais dimensões para poder estimar umas em função das outras.

O objetivo deste trabalho foi interpolar variáveis relacionadas a fitossociologia, estimativas de biomassa e carbono, num fragmento de Floresta Ombrófila Mista, em General Carneiro-PR; utilizar técnicas de geoestatística na espacialização das variáveis pelo método da krigagem ordinária na interpolação dos dados; e obter mapas temáticos para as variáveis que apresentarem resultados satisfatórios. Também teve como objetivo caracterizar as atividades de exploração do fragmento em questão, para ajudar a explicar a situação da floresta.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização da área de estudo, vegetação, clima, solos, métodos e materiais utilizados estão descritos no capítulo 1, exceto para os parâmetros fitossociológicos, alometria e análises variográficas. Ainda a campo, coletou-se informações referentes aos ciclos de utilização do fragmento florestal em questão, desde a extração de madeira, xaxim e erva-mate, até a coleta de sementes feita recentemente pela ONG Preservação.

Os dados do levantamento de campo foram processados utilizando-se um ferramental específicos para fitossociologia, o aplicativo Mata Nativa 2.10, bem como equações alométricas geradas por Ratuchne (2010), num fragmento de Floresta Ombrófila Mista próxima a área de estudo.

Os dados resultantes da análise fitossociológica e da aplicação das equações de biomassa e carbono, foram dispostos em um planilha do Excel, ancorados nas

coordenadas das respectivas unidades amostrais, sendo a planilha importada para o programa GS+, onde efetuaram-se as análises variográficas, validação cruzada e interpolação dos dados, obtendo-se os mapas temáticos como produto final.

Nos mapas obtidos, os polígonos em branco referem-se a áreas de plantio de *Pinus sp.*, pastagem e açúdes, onde não existia floresta nativa.

2.2.1 Parâmetros fitossociológicos

Os parâmetros fitossociológicos referem-se aos valores e índices obtidos a partir de dados coletados em campo, que descrevem a estrutura horizontal e vertical da floresta, bem como a sua diversidade de espécies vegetais, incluem as seguintes variáveis: Densidade absoluta (DA) e Densidade relativa (DR), que são relacionadas com o número de indivíduos de uma espécie na amostra; Dominância absoluta (DoA) e Dominância relativa (DoR), que indicam a influência de cada espécie na comunidade em função de sua biomassa, expressa pela área basal dos indivíduos; Frequência absoluta (FA) e Frequência relativa (FR), que expressam o número de ocorrências da espécie no total de unidade amostrais alocadas; Índice de valor de cobertura (IVC) e Índice de valor de importância (IVI), que demonstram a representatividade de cada espécie na comunidade, sendo o IVC, resultado da soma de DR e DoR, e o IVI, resultado da soma de DR, DoR e FR, além dos índices abaixo descritos.

2.2.1.1 Número de indivíduos total por hectare (N. ind. ha⁻¹)

A estimativa da densidade ou da frequência de árvores por hectare é uma informação valiosa em qualquer levantamento florestal (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006). O dado obtido com a contagem de todos os indivíduos arbóreos, com diâmetro a altura do peito – (DAP) a partir de 10 cm, em unidades amostrais de área conhecida, com extrapolação para um hectare.

2.2.1.2 Área basal – m² ha⁻¹ (G)

A área basal (G) refere-se ao grau de ocupação do terreno pelos fustes das árvores na altura de 1,3 m (DAP). É expressa em uma base por unidade de área (m² ha⁻¹), sendo uma extrapolação da G mensurada em unidades amostrais de área conhecida.

Deve ser entendida como a parte de uma área florestal ocupada pelos fustes das árvores que compõem a floresta, sendo o restante do espaço não ocupado pelos fustes. Ela tem sido usada como variável independente na estimativa do volume por unidade de área, como no caso das equações de volume do povoamento. Também expressa a densidade do povoamento, isoladamente ou em combinação com outro fator. Como a densidade afeta o crescimento e a produção, a área basal por unidade de área é largamente utilizada como terceira variável independente no desenvolvimento de funções para prever crescimento e produção (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

A área basal (G) foi calculada pela seguinte fórmula:

$$G = \sum_{i=1}^n g_i,$$

onde:

G = área basal da floresta ou do povoamento ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$);

g_i = área transversal de um indivíduo ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) mensurado em uma unidade amostral:

em função do diâmetro: $g_i = ((\pi d_i^2)/4) = 0,7854 d^2$;

em função da circunferência: $g_i = ((c_i^2)/4\pi) = c_i^2/12,5664$;

n = número total de indivíduos amostrados.

2.2.1.3 Número de espécies amostradas

O número de espécies é uma variável importante pois a partir dela é que se conhece a diversidade da floresta, calculando-se índices de diversidade como por exemplo o índice de Shannon-Weaner.

2.2.1.4 Índice de diversidade de Shannon-Weaner (H')

É um índice que estima a diversidade específica Magurran (1988), expressando a heterogeneidade florística da área em questão Krebs (1978) e Greig-Smith (1983), calculado pela seguinte fórmula:

$$H' = (-\sum pi * Lnpi), \quad \text{sendo: } pi = \frac{ni}{N}$$

sendo:

H' = Índice de Shannon-Weaner;

pi = proporção de indivíduos da i -ésima espécie;

ln = logaritmo de base neperiano (e);

ni = número de indivíduos amostrados para a espécie i ;

N = número total de indivíduos amostrados.

Segundo Durigan (1999), os valores desse índice em geral situam-se entre 1,50 e 3,50 na Floresta Ombrófila Mista.

2.2.1.5 Índice de dominância de Simpson (C')

O Índice de dominância de Simpson mede a probabilidade de dois indivíduos, selecionados ao acaso na amostra, pertencer à mesma espécie (BROWER e ZARR, 1984). Uma comunidade de espécies com maior diversidade terá uma menor dominância. O valor estimado de C' varia de 0 a 1, sendo que, para valores próximos de um, a diversidade é considerada maior, sendo calculado da seguinte forma:

$$C' = 1 - l$$

onde:

C' = Índice de dominância de Simpson;

$$l = \left(\sum_{i=1}^S (ni(ni - 1)) / (N(N - 1)) \right)$$

ni = número de indivíduos amostrados para a i -ésima espécie;

N = número total de indivíduos amostrados;

S = número de espécies amostradas.

2.2.1.6 Índice de equabilidade de Pielou (J')

É derivado do índice de diversidade de Shannon e permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes (Pielou, 1966).

Seu valor apresenta uma amplitude de 0 a 1, uniformidade mínima e máxima, respectivamente. Calcula-se por:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

onde:

J' = Índice de equabilidade de Pielou;

H' = Índice de Shannon-Weaner;

H'_{max} = $\ln(\text{número de espécies})$.

2.2.2 Escolha de espécies para estimativas do número de indivíduos

As espécies escolhidas foram as que apresentarem o maior IVI, que revela, através de pontos alcançados por uma espécie, sua posição sociológica na comunidade analisada, e IVC, medida que também fornece informações a respeito de cada espécie nos locais estudados, ambos oriundos da análise fitossociológica, e algumas espécies de interesse pessoal.

2.2.3 Alometria – Estimativa de Biomassa e Carbono

Uma equação alométrica, para biomassa ou carbono, é uma ferramenta matemática que permite conhecer de forma simples a quantidade de biomassa ou de carbono de uma árvore através da medição de outras variáveis. As equações são geradas a partir da análise de regressão, onde se estudam as relações entre a massa (peso seco) das árvores e seus dados dimensionais (altura, diâmetro), para estimar biomassa.

Conforme Silva (1999), na teoria da regressão busca-se relacionar uma variável aleatória Y com uma variável X, fixa, isto é, desprovida de erro experimental. Através da regressão estima-se os coeficientes do modelo formando assim uma equação. Os modelos mais comuns de equações para determinação de biomassa encontram-se em Wendling (1998), sendo também utilizada para estimativa de carbono.

As equações utilizadas neste trabalho foram ajustadas por Ratuchne (2010), para árvores de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro-PR próximo a área de estudo, sendo escolhidas para o presente estudo aquelas que

utilizavam apenas o DAP, pelo fato de não haver altura das árvores nos dados obtidos no levantamento fitossociológico. A equação para estimativa de biomassa arbórea total acima do solo (P), possui um coeficiente de determinação de 95,40%, erro padrão da estimativa de 46,53 e estatística F de 878,92, sendo:

$$P = 4,268.dap - 0,114.dap^2 + 0,013.dap^3 - (7,22E-05).dap^4$$

Já a equação para estimativa de carbono total na biomassa arbórea total acima do solo, possui um coeficiente de determinação de 97,40%, erro padrão da estimativa de 38,19 e estatística F de 1000,09, sendo:

$$C = -9,579 + 1,120.dap + 0,098.dap^2 + 0,001.dap^3$$

2.2.4 Ciclos de exploração da floresta

Com o intuito de descrever a utilização do fragmento florestal em questão, foram levantadas algumas informações sobre o mesmo, com base em relatos de moradores locais e pessoas que já trabalharam na área, coletados em novembro de 2009, dados cedidos pela ONG Preservação, dados de literatura (artigos científicos analisados), e percepções pessoais, obtidas na análise dos resultados dos levantamentos de campo (solo e floresta).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1 Ciclos de exploração da floresta

As informações obtidas sobre a utilização da floresta ajudam a entender o seu atual comportamento, podendo-se então fazer alguns comentários.

Segundo relatos de um ex-funcionário da Reserva Paisagem Araucária e morador da localidade, na década de 1970 os agricultores da localidade não possuíam matrículas das áreas de floresta e as madeiras apossavam-se destas por meio da “pistolagem”, expulsando os agricultores e explorando os recursos florestais. Neste momento a atividade madeireira já se encontrava instalada na região, onde a derrubada das árvores era feita com serra americana e o baldeio com junta de boi.

Em 1987, uma empresa chamada Farroupilha adquiriu a área, que era da DE Marco Argenta S/A, que executou por dois anos (1988 e 1990) um Plano de Manejo Florestal Sustentável. Posteriormente a área foi vendida novamente a DE Marco Argenta S/A, em 1992, sendo vendida novamente ao Sr. Adair Gomes do Prado, em 1997 (ONG PRESERVAÇÃO, 2007). Segundo relatos de um ex-funcionário da ONG, no ano 2000 árvores de araucária (*Araucaria angustifolia*) eram vendidas para a Laminados e Serrados Rio Tourino, e em meados de 2002, finalizava-se a retirada de imbuia e canela pelo mesmo. A madeira era processada na própria fazenda, mas conforme relatos de moradores locais da vizinhança, fazem aproximadamente 10 anos que encerraram-se as atividades, contudo, em 2002 haviam resquícios de atividade, pois os “caminhões do Prado” ainda transportavam madeira (imbuía e canela – *Ocotea sp* e *Nectandra sp*), e as instalações foram retiradas da área apenas em junho/julho de 2007, após a compra da área pela ONG Preservação em 2006.

Segundo relatos de outros moradores locais, vizinhos a área, há mais ou menos 30 anos encerrou-se a retirada, na floresta local, das araucárias de grande porte e, há 20 anos, a das imbuias de grande porte, esgotando-se então os recursos madeireiros, a partir daí intensificou-se a retirada de erva-mate (*Ilex paraguensis*) e de xaxim (*Dicksonia sellowiana*), e ainda a implantação de pinus (*Pinus sp*), que também já vem sofrendo corte atualmente na área.

Após a aquisição da área, a ONG Preservação criou uma RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural, de 1100 ha, abrangendo 87,44 % do total da propriedade, mas também realizou coletas de sementes de Araucária, coletando aproximadamente 1.800,00 kg em 2007 e 900 kg em 2008, para fins de produção de mudas em viveiro e fornecimento de matéria-prima para a indústria de cosméticos, bem como de outras espécies como bracatinga, imbuia, canela, pessegueiro-bravo, aroeira-vermelha, guaçatunga, leiteiro, entre outras.

Nos últimos anos (2009/2010), a área encontra-se abandonada, sem a presença constante de um funcionário ou representantes da ONG Preservação, o que tem favorecido a utilização da floresta para pastejo, onde estima-se que haja em torno de 40 bovinos, 4 equinos e porcos, além de javalis, espécie exótica introduzida e sem controle, todos com livre trânsito e permanência constante por toda área. Estes animais foram avistados no local, no mês de novembro de 2009, momento da coleta de solo, onde também foi observado vestígios (latas de refrigerante em carreador e trilha

recentemente aberta nos acessos internos), da entrada na área, de pessoas sem autorização.

Na sede foram encontrados ainda outros problemas, como a falta de energia elétrica e água, falta de limpeza e conservação do local, bem como a falta de funcionários. Também foram observados, obras inacabadas, sujeita a perda de materiais utilizados e em estoque, por estarem expostas às intemperes do clima e mau armazenados, falta de conservação de cercas limitrofes, falta de comunicação interna e externa, falta de conservação dos acessos interno, situação que impede e dificulta a conservação do fragmento.

Esse histórico todo tem influência sobre a floresta, afetando a regeneração, pois permitiu a infestação de taquaras (*Bambusoedae*) e xaxim (*Dicksonia sellowiana*), a retirada de sementes, o pisoteio, a compactação e erosão do solo, o pastejo e danos à floresta (nas árvores onde os animais se coçam), a falta de funcionários no local (permitindo a entrada de pessoas com os objetivos de caça, soltura de animais para pastejo, retirada de madeira, coleta de pinhão, roubo, risco de incêndio, danos diversos, entre outros), prejudicando a floresta. Teve-se a preocupação em relatar essa situação pois ela pode, de certa forma, ajudar no entendimento da situação da floresta, que influenciou os resultados obtidos.

2.3.2 Fitossociologia, alometria e análise espacial

Na análise fitossociológica, foram amostrados 1034 indivíduos, pertencente a 61 espécies de 43 gêneros, distribuídas em 27 famílias (Quadro 1). As famílias botânicas que apresentaram maior número de espécies foram: *Myrtaceae* (11), *Lauraceae* (9), *Aquifoliaceae* e *Asteraceae* (4) seguido pelas *Anacardiaceae* e *Sapindaceae* (3), sendo que as demais famílias apresentam duas ou uma espécie. A espécie que apresentou o maior número de indivíduos foi a *Dicksonia sellowiana* (xaxim), com 121 indivíduos amostrados (11,69 % do total).

Quadro 1. Resultado da análise fitossociológica – estrutura horizontal

ESPÉCIE	N	DA	DoA	FA	DR	DoR	FR	IVC	IVI
<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	121	53.78	2.13	57.78	11.70	9.18	5.87	20.88	26.75
<i>Clethra scabra</i> Persoon	74	32.89	1.90	66.67	7.16	8.20	6.77	15.36	22.13
<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax	87	38.67	1.66	17.78	8.41	7.16	1.81	15.58	17.38
Morta	56	24.89	1.16	66.67	5.42	4.98	6.77	10.39	17.17
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	72	32.00	1.42	37.78	6.96	6.10	3.84	13.06	16.90
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	41	18.22	0.59	57.78	3.97	2.54	5.87	6.51	12.37
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	56	24.89	0.79	26.67	5.42	3.41	2.71	8.82	11.53
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs	51	22.67	0.52	33.33	4.93	2.23	3.39	7.17	10.55
<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	23	10.22	1.21	28.89	2.22	5.20	2.93	7.42	10.36
Não Identificada	24	10.67	1.28	22.22	2.32	5.52	2.26	7.84	10.10
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	30	13.33	0.83	24.44	2.90	3.57	2.48	6.48	8.96
<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schltdl.) Dietrich	23	10.22	0.59	40.00	2.22	2.52	4.06	4.74	8.81
<i>Capsicodendron dinisii</i> (Schwacke) Occhioni	37	16.44	0.42	26.67	3.58	1.80	2.71	5.37	8.08
<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusen ex Malme	23	10.22	0.66	26.67	2.22	2.84	2.71	5.07	7.78
<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees & C. Martius ex Nees) Kosterm.	22	9.78	0.45	33.33	2.13	1.92	3.39	4.05	7.44
<i>Ocotea porosa</i> (Nees & C. Mart.) Barroso	18	8.00	0.57	28.89	1.74	2.46	2.93	4.20	7.13
<i>Sloanea monosperma</i> Vell.	14	6.22	0.75	13.33	1.35	3.24	1.35	4.59	5.95
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	15	6.67	0.41	22.22	1.45	1.75	2.26	3.21	5.46
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	11	4.89	0.54	20.00	1.06	2.33	2.03	3.40	5.43
<i>Nectandra grandiflora</i> Nees & C. Mart. ex Nees	15	6.67	0.47	17.78	1.45	2.04	1.81	3.49	5.29
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	15	6.67	0.26	20.00	1.45	1.11	2.03	2.56	4.59
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	12	5.33	0.23	22.22	1.16	1.01	2.26	2.17	4.43
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	14	6.22	0.27	17.78	1.35	1.17	1.81	2.52	4.33
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) Berg.	17	7.56	0.27	13.33	1.64	1.16	1.35	2.81	4.16
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	6	2.67	0.48	11.11	0.58	2.08	1.13	2.67	3.79
<i>Myrciaria delicatula</i> (DC.) O. Berg	6	2.67	0.45	11.11	0.58	1.94	1.13	2.52	3.65
<i>Symplocos tetrandra</i> Mart.	13	5.78	0.33	6.67	1.26	1.44	0.68	2.70	3.37
<i>Myrsine laetevirens</i> Mez	12	5.33	0.14	15.56	1.16	0.59	1.58	1.75	3.33
<i>Inga sp</i>	11	4.89	0.11	17.78	1.06	0.45	1.81	1.52	3.32
<i>Vernonanthura petiolaris</i> (DC.) H. Rob.	8	3.56	0.15	15.56	0.77	0.65	1.58	1.43	3.01
<i>Cinnamomum vesiculosum</i> (Nees) Kosterm.	3	1.33	0.44	6.67	0.29	1.90	0.68	2.19	2.87
<i>Baccharis oreophila</i> Malme	9	4.00	0.09	15.56	0.87	0.37	1.58	1.24	2.82
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	6	2.67	0.25	11.11	0.58	1.09	1.13	1.68	2.80
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	11	4.89	0.11	11.11	1.06	0.47	1.13	1.54	2.67
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg.	9	4.00	0.12	11.11	0.87	0.51	1.13	1.38	2.51
<i>Myrcia hatschbachii</i> D. Legrand	7	3.11	0.07	13.33	0.68	0.30	1.35	0.98	2.33
<i>Ocotea pulchella</i> (Nees et Mart. Ex Nees) Nees	5	2.22	0.27	6.67	0.48	1.16	0.68	1.64	2.32
<i>Maytenus aquifolium</i> Mart.	7	3.11	0.07	8.89	0.68	0.32	0.90	1.00	1.90
<i>Vernonanthura discolor</i> (Spreng.) H. Rob.	7	3.11	0.10	6.67	0.68	0.44	0.68	1.12	1.79
<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	4	1.78	0.14	6.67	0.39	0.61	0.68	1.00	1.68
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	3	1.33	0.08	6.67	0.29	0.32	0.68	0.61	1.29
<i>Dasyphyllum brasiliense</i> (Spreng.) Cabr.	4	1.78	0.05	6.67	0.39	0.20	0.68	0.59	1.26
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	3	1.33	0.08	4.44	0.29	0.35	0.45	0.65	1.10
<i>Xylosma pseudosalzmanii</i> Sleumer	3	1.33	0.02	6.67	0.29	0.09	0.68	0.38	1.06
<i>Solanum cf. pseudoquina</i> A. St.-Hil.	3	1.33	0.07	2.22	0.29	0.32	0.23	0.61	0.84
<i>Myrceugenia euosma</i> (O. Berg) D. Legrand	3	1.33	0.02	4.44	0.29	0.08	0.45	0.37	0.82

Continua na próxima página ...

ESPÉCIE	N	DA	DoA	FA	DR	DoR	FR	IVC	IVI
<i>Calyptanthes concina</i> DC.	2	0.89	0.01	4.44	0.19	0.05	0.45	0.24	0.69
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1	0.44	0.06	2.22	0.10	0.25	0.23	0.35	0.57
<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	2	0.89	0.02	2.22	0.19	0.10	0.23	0.30	0.52
<i>Symplocos uniflora</i> (Oohl) Benth	2	0.89	0.01	2.22	0.19	0.06	0.23	0.25	0.48
<i>Myrcia hebetata</i> DC.	2	0.89	0.01	2.22	0.19	0.05	0.23	0.24	0.47
<i>Ilex brevicuspis</i> Reissek	2	0.89	0.01	2.22	0.19	0.04	0.23	0.24	0.46
<i>Ilex dumosa</i> Reissek	1	0.44	0.02	2.22	0.10	0.10	0.23	0.20	0.43
<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	1	0.44	0.01	2.22	0.10	0.03	0.23	0.13	0.36
<i>Ilex theazans</i> Mart.	1	0.44	0.01	2.22	0.10	0.03	0.23	0.13	0.36
<i>Chrysophyllum</i> sp	1	0.44	0.01	2.22	0.10	0.03	0.23	0.13	0.35
<i>Eugenia</i> sp	1	0.44	0.01	2.22	0.10	0.03	0.23	0.13	0.35
<i>Sambucus nigra</i> L.	1	0.44	0.01	2.22	0.10	0.02	0.23	0.12	0.35
<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	1	0.44	0.01	2.22	0.10	0.02	0.23	0.12	0.35
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	1	0.44	0.01	2.22	0.10	0.02	0.23	0.12	0.34
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl	1	0.44	0.00	2.22	0.10	0.02	0.23	0.12	0.34
TOTAL	1034	459.55	23.23	984.44	100	100	100	200	300

Nota: N = número total de indivíduos amostrados; DA = densidade absoluta (ind/ha); DoA = dominância absoluta (m²/ha); FA = frequência absoluta (%); DR = densidade relativa (%); DoR = dominância relativa (%); FR = frequência relativa (%); Índice de Valor de Cobertura (IVC) = AB Rel + D Rel, (0 – 200); Índice de Valor de Importância (IVI) = AB Real + FR Rel + D Rel, (0 – 300).

Watzlawick et al. (2005), estudando a composição florística e estrutura de um fragmento de FOM, antropizado (com retirada de espécies de valor comercial), manejados pelas Indústrias Pizzato, em General Carneiro-PR, amostraram 39 espécies arbóreas pertencentes a 31 gêneros, distribuídos em 21 famílias, inventariando indivíduos com DAP \geq 10 cm, resultando numa média de 590 indivíduos por hectare. Os gêneros que apresentaram o maior número de espécies foram o *Ilex* (4), *Ocotea* (3), *Myrsine*, *Sebastiania* e *Symplocos* (2), e as famílias que mais destacaram-se foram: Lauraceae (5 espécies), Aquifoliaceae (4), Myrtaceae, Sapindaceae e Euphorbiaceae (3), e as demais famílias apresentaram um ou dois representantes apenas, resultados inferiores, quanto ao número de espécies, gêneros e famílias obtidos no presente trabalho, havendo alternância entre as famílias com o maior número de espécies. Isso pode indicar que as duas áreas passaram por processo exploratório, onde aparentemente o fragmento do presente estudo tenha uma maior diversidade de espécies.

Klauber et al. (2010) observaram 46 espécies, 39 gêneros e 27 famílias botânicas, avaliando a florística e estrutura de um fragmento de FOM no Planalto Catarinense, em Lages num Parque Municipal (PARNAMUL), sendo o número de espécies inferior ao observado no presente trabalho, tendo também uma maior diversidade de espécies.

Precedendo a análise variográfica foi realizada uma análise estatística descritiva para as variáveis utilizadas, onde a tabela 1 apresenta as medidas de posição (média, mediana e moda), dispersão (valor mínimo e máximo, desvio padrão e variância) e forma (assimetria, curtose e coeficiente de variação). A tabela 2 apresenta os parâmetros variográficos obtidos nos ajustes dos semivariogramas.

Tabela 1. Análise estatística descritiva das variáveis do fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária

Variável	Média	Mediana	Moda	Valor máx.	Valor min.	Variância	Desv. Padrão	Assimetria	Curtose	C.V. %
N. de indivíduos por ua.	23	21	23	68	4	182,1364	13,4956	1,2867	2,0021	58,68
Área Basal – G(m ² ha ⁻¹)	23,2598	21,3194	Amodal	50,7763	6,5885	118,0095	10,8632	0,5201	-0,3472	46,70
N. de espécies por amostra	10	10	10	17	3	11,4071	3,3774	-0,0004	-0,2279	34,31
Índice de Shannon-Weaner	1,92	1,96	2,16	2,68	1,04	0,1496	0,3868	-0,4340	-0,0137	20,10
Índice de Simpson	0,85	0,85	0,83	0,98	0,49	0,0078	0,0884	-1,5619	4,9699	10,41
Índice de Pielou	0,87	0,87	0,95	1,00	0,53	0,0075	0,0866	-1,4493	4,2588	9,94
N. ind. <i>D. sellowiana</i> por ua.	3	1	0	14	0	14,4465	3,8008	1,6627	1,9449	141,35
N. ind. <i>M. scabrella</i> por ua.	2	0	0	13	0	9,4677	3,0770	2,1518	4,0668	189,68
N. ind. <i>I. paraguariensis</i> por ua.	1	1	0	4	0	1,0374	1,0185	1,1301	0,8915	111,79
Biomassa Total (MG) por ua.	5,76	5,37	3,91	12,01	1,47	7,6185	2,7602	0,4741	-0,5330	47,92
Carbono Total (MG) por ua.	2,40	2,18	1,64	5,06	0,64	1,3546	1,1639	0,6017	-0,3153	48,58

Tabela 2. Parâmetros variográficos das variáveis analisadas no fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária

Parâmetros variográficos das variáveis analisadas no fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária, General Carneiro-PR									
Variável	Modelo	Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (m)	r ²	SQR	C/(C+Co)	Dependência Espacial	
N. de indivíduos por ua.	Gaussiano	0,100000	184,500000	514,00	0,779	6307	0,99	Forte	
Área Basal – G(m ² ha ⁻¹)	Gaussiano	6,000000	120,300000	237,29	0,993	3,62	0,95	Forte	
N. de espécies por ua.	Exponencial	2,860000	14,290000	2784,00	0,999	1,229E-03	0,80	Forte	
Índice de Shannon-Weaner	Esférico	0,019700	0,153400	1975,00	0,767	6,497E-03	0,87	Forte	
Índice de Simpson	Exponencial	0,000010	0,004280	1380,00	0,915	7,433E-07	0,99	Forte	
Índice de Pielou	Exponencial	0,000010	0,004660	1179,00	0,940	3,445E-07	0,99	Forte	
N. ind. <i>D. sellowiana</i> por ua.	Gaussiano	0,010000	10,350000	784,62	0,783	25,80	0,99	Forte	
N. ind. <i>M. scabrella</i> por ua.	Esférico	1,700000	7,710000	1044,00	0,455	14,50	0,78	Forte	
N. ind. <i>I. paraguariensis</i> por ua.	Gaussiano	0,001000	1,021000	770,76	0,807	0,178	0,99	Forte	
Biomassa Total (MG) por ua.	Exponencial	1,910000	9,089000	1983,00	0,997	0,011	0,79	Forte	
Carbono Total (MG) por ua.	Exponencial	0,173000	1,656000	1959,00	0,996	5,660E-04	0,90	Forte	

Os valores de média e mediana foram próximos entre si, indicando que o ponto central dos valores analisados é similar a média aritmética das variáveis estudadas, não havendo discrepâncias acentuadas para as mesmas. A maioria das variáveis apresentou um alto coeficiente de variação, acima de 30%, de acordo com os parâmetros propostos por Gomes (1976), onde o maior CV% foi para o número de indivíduos de *M. scabrella* por unidade amostral, 189,68%, e o menor foi para o Índice de equabilidade de Pielou (*J*), 9,94%, onde os altos CV% são resultantes da situação de floresta alterada com distúrbio.

A variável número de indivíduos, por hectare quanto por unidade amostral, não apresentou uma análise variográfica satisfatória (Tabela 1), tendo dependência espacial, mas contendo uma alta soma dos quadrados dos resíduos (SQR), 6307, e erros de estimativa, não sendo indicado gerar mapas de isovalores para esta variável. Esse comportamento possivelmente é resultante da grande heterogeneidade da floresta, em função dos distúrbios que nela ocorrem e dos diferentes estágios de regeneração que encontra-se.

O número de indivíduos por unidade amostral variou de 4 a 68, contendo uma média de 23 indivíduos (correspondente a 460 indivíduos por hectare), alta variância, 182,1364 (a maior entre as variáveis utilizadas) e coeficiente de variação de 58,68 % (Tabela 1).

Watzlawick et al. (2005) observaram um média de 590 indivíduos por hectare (FOM em General Carneiro-PR), Silvestre et al. (2008) encontraram uma média 687 indivíduos por hectare (FOM em Timbó Grande-SC), e Silvestre (2009) encontrou números médios de indivíduos por hectare de 3430, 2844 e 1137, para fragmentos de FOM em Castro-PR, Boa Ventura de São Roque-PR e Guarapuava-PR, respectivamente, utilizando em cada município unidade amostral contínua de 0,5 ha e mensurando indivíduos com $DAP \geq 5$ cm, sendo todos os valores citados maiores que os observados neste trabalho, por serem fragmentos diferenciados em função da classe diamétrica, estágios de desenvolvimento, localização, entre outros fatores. Sendo as áreas de FOM descrita por Silvestre (2009) conhecidas, e fazendo uma comparação como o estado do fragmento aqui estudado, observou-se que o fragmento em questão apresenta distúrbio, lembrando que a extração de madeira findou-se em meados de 2002, tendo um intervalo de tempo inferior à 10 anos, tempo insuficiente para a regeneração da floresta, que possivelmente seja diferente da situação anterior a da exploração madeireira.

Na análise variográfica (Tabela 2), a área basal (G) apresentou forte dependência espacial (99%), SQR de 3,68, um alcance curto (237,29 m), resultados insatisfatórios em função do alcance, mesmo o semivariograma (Figura 1) e a validação cruzada (Figura 2) serem adequados, não elaborando o mapa de isovalores para esta variável.

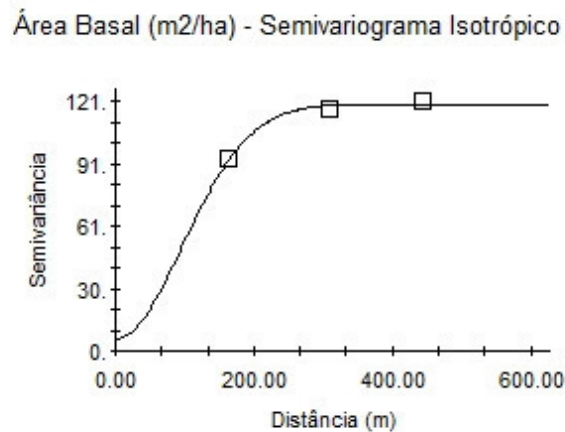


Figura 1. Semivariograma para a área basal por hectare (m² ha⁻¹)

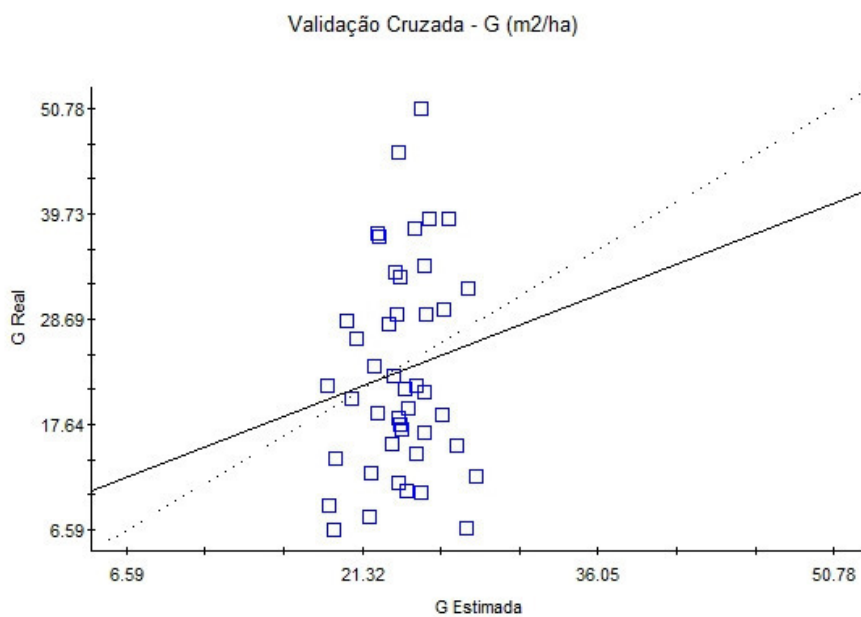


Figura 2. Validação Cruzada para a área basal por hectare (m² ha⁻¹)

Esse comportamento apresentado pela área basal pode ser devido à desuniformidade da floresta em função das alterações ocorridas, ou das características da grade amostral (configuração – distância entre unidades), sendo necessário um maior adensamento da grade (maior número de unidades amostrais), visto que o alcance (a)

obtido para área basal na análise variográfica foi de 237,29 m, distância inferior ao intervalo de distância média entre as unidades (400 – 500 m aproximadamente), onde provavelmente as estimativas possuem erros, mesmo sendo geradas a partir de valores coerentes obtido a campo.

Watzlawick et al. (2005) encontraram uma área basal de 38,48 m² ha⁻¹ para indivíduos com DAP ≥ 10 cm, valor superior aos encontrados na faixa de maior abrangência de G na área de estudo, confirmando que houve forte exploração da floresta. Silvestre et al. (2008) levantaram a florística e a fitossociologia de um fragmento de FOM, também antropizado, e com alto nível de adensamento de taquara, no município de Timbó Grande – SC, encontrando área basal de 23,80 m² ha⁻¹, trabalhando com indivíduos arbóreos que apresentaram DAP ≥ 10 cm, situação similar ao da área de estudo em questão, pelo tipo de floresta, característica do solo e tipo de distúrbio, mostrando que a presença de taquara, em alta densidade, interfere na regeneração da floresta. Klauberg et al. (2010) encontraram uma área basal total de indivíduos amostrados de 34,2 m² ha⁻¹, considerando-o como um valor baixo devido à intervenções antrópicas (exploração de madeira).

O número de espécies por amostra apresentou bons resultados na análise variográfica (Tabela 2), ilustrado pelo semivariograma (Figura 3) e validação cruzada (Figura 4), apresentando forte dependência espacial (99%), utilizando-se o modelo gaussiano, resultando em um bom mapa de isovalores para esta variável da floresta.

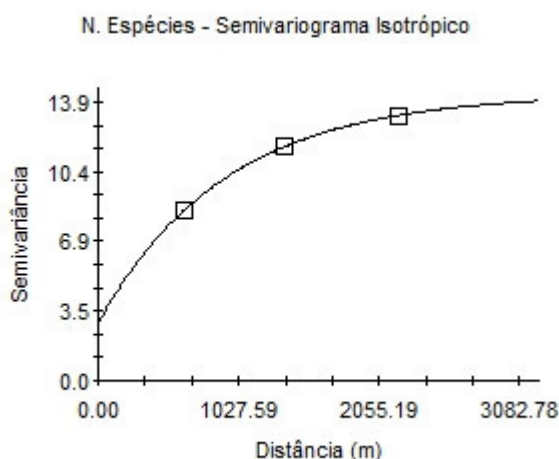


Figura 3. Semivariograma para o número de espécies por amostra

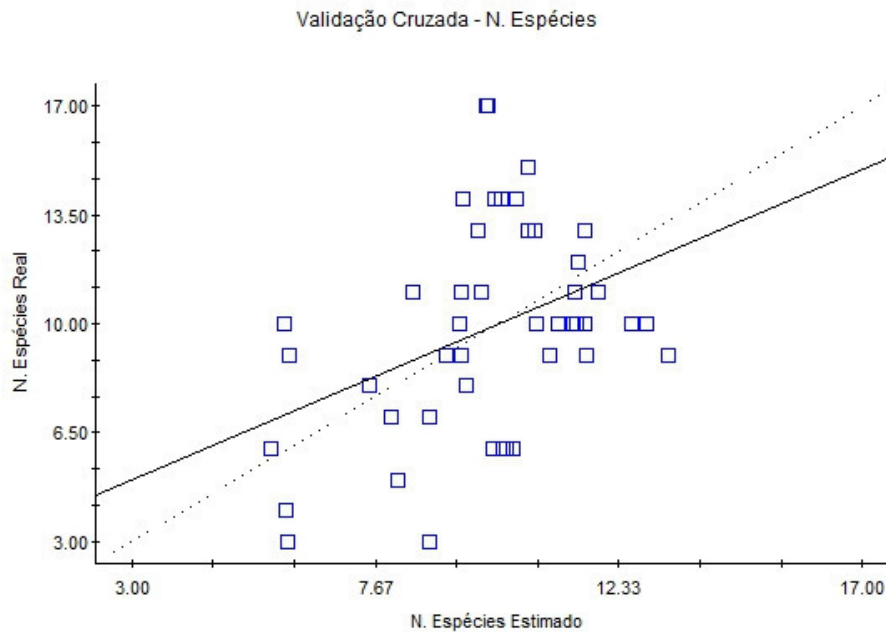


Figura 4. Validação Cruzada para o número de espécies por amostra

O comportamento da validação cruzada mostra que há pequena diferença entre dados reais e estimados (retas quase se sobrepõem), havendo uniformidade na distribuição dos pontos ao longo das retas, sendo esta situação muito próxima à desejada na validação cruzada, mostrando que houve uma boa estimação.

O mapa obtido (Figura 5) mostra claramente os locais onde ocorrem os maiores números de espécies, sendo que nos locais onde ocorrem poucas espécies existe grande distúrbio na floresta, em função da abertura da mesma no momento da retirada das espécies de interesse comercial, ou de danos gerados durante esta operação, que possivelmente modificaram a estrutura vertical e horizontal da floresta, alterando condições de luminosidade (quantidade e qualidade de luz que chega ao solo), umidade do ar, condições de ventos, favorecendo a ocupação da área por taquaras (*Bambusoedae*) e xaxim (*Dicksonia sellowiana*), o que dificulta a regeneração da floresta, por serem espécies adaptadas as condições de floresta alterada para a formação Floresta Ombrófila Mista, em detrimento ao seu banco de plântulas e sementes no solo.

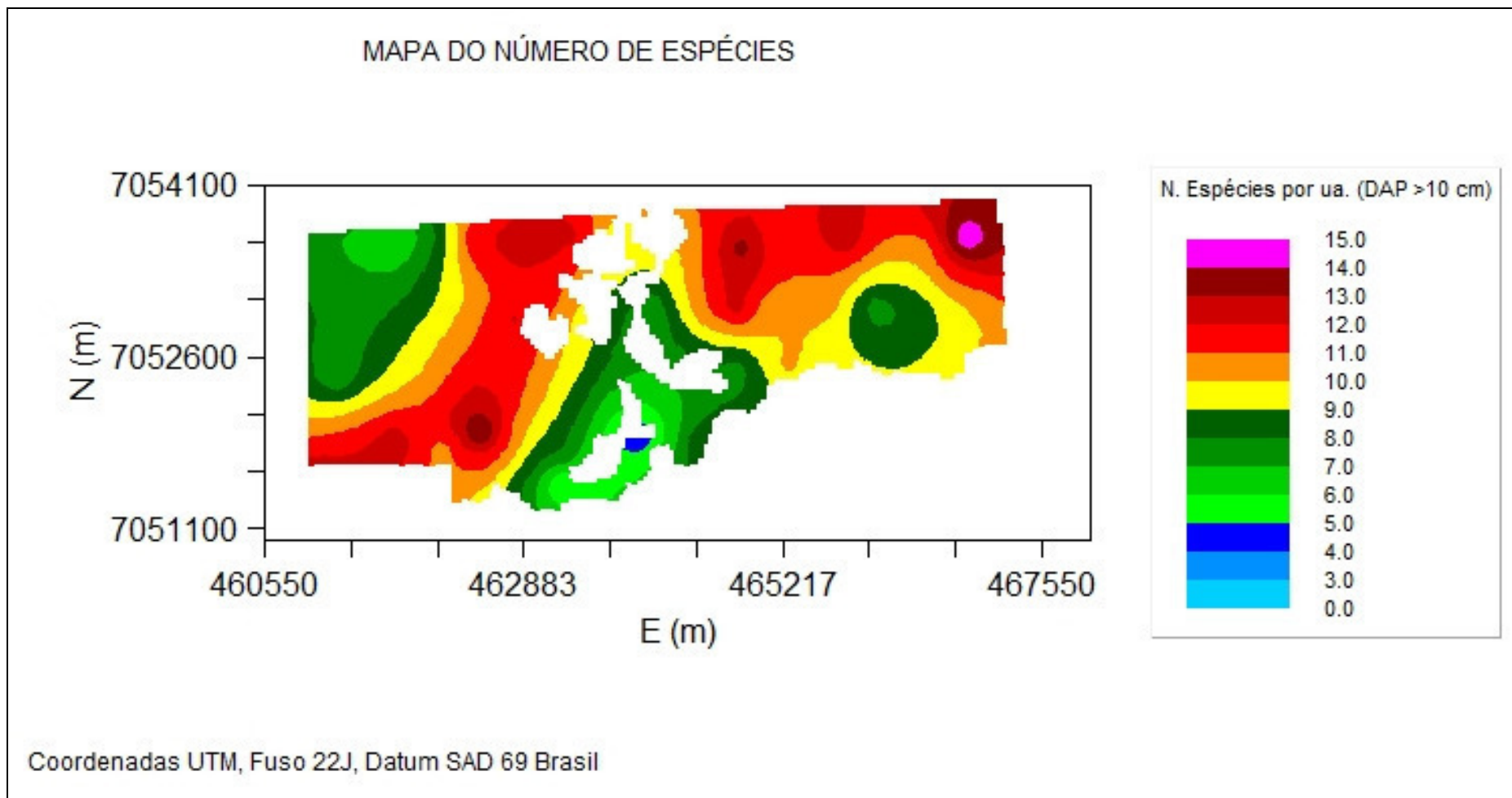


Figura 5. Mapa de isovalores para o número de espécies encontradas por unidade amostral

Klauber et al. (2010) também encontraram problemas em fragmento de FOM relacionados a presença de taquaral (*Merostachys multiramea* Hackel), em Lages-SC, encontrando 135 árvores em uma parcela (40x40 m, dividida em 4 unidades amostrais de 10x10 m), sendo que na unidade amostral que continha apenas 1 indivíduo ocorria clareira com forte ocupação de taquara, formando densas e grandes touceiras, comportamento mencionado por Klein (1963; 1985), ocorrendo diminuição do número de indivíduos e de espécies.

Durante a coleta de solo (novembro de 2009), onde foram visitadas praticamente todas as unidades amostrais utilizadas no levantamento florístico, foi observado que as taquaras morreram e estavam acamadas sobre o solo, e que haviam muitas árvores quebradas pelos ventos e chuvas (Figura 6), pois estas não tinham resistência mecânica para suportar a pressão gerada por estes, o que pode contribuir também para a diminuição do número de espécies, principalmente nas regiões onde existe baixo número de indivíduos.



Figura 6. Áreas com influência de taquara na Reserva Paisagem Araucária Papagaio-do-Peito-Roxo, General Carneiro-PR (novembro de 2009)

Segundo Klein (1978), em encostas íngremes, entre altitudes superiores a 700 m e inferiores a 1200 m, como as que ocorrem na área de estudo, ocorrem espécies tolerantes a solos rasos, próprias de encostas abruptas e predomínio de taquarais, o que não caracteriza o comportamento de uma floresta saudável, sendo provavelmente um distúrbio cíclico instalado a longa data na floresta em questão.

O índice de Shannon-Weaner (H') variou de 1,04 a 2,68 nats ind⁻¹ (Tabela 1), quando consideradas as unidades amostrais isoladamente, e apresentou bons resultados na análise variográfica (Tabela 2), contendo forte dependência espacial (87%), resultando em um ótimo mapa de isovalores (Figura 9). A figura 7 traz o semivariograma e a figura 8 validação cruzada para o índice de Shannon.

Índice de Shannon-Weaner - Semivariograma Isotrópico

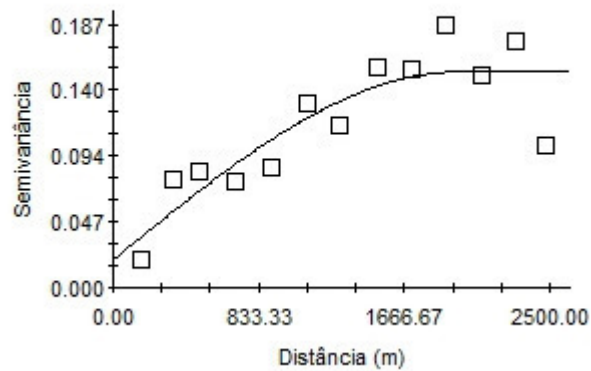


Figura 7. Semivariograma para o Índice de Shannon-Weaner

Validação Cruzada - Índice de Shannon-Weaner

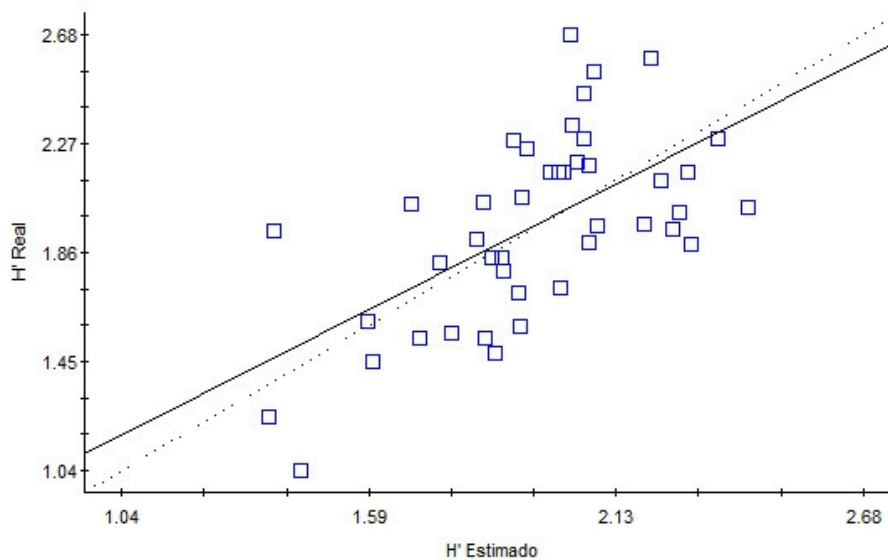


Figura 8. Validação Cruzada para o Índice de Shannon-Weaner

O mapa (Figura 9) mostra claramente as regiões onde ocorrem os maiores índices de diversidade, sendo estas compatíveis com áreas onde não ocorria alto adensamento de taquara, representando a distribuição da diversidade de espécies arbóreas no fragmento.

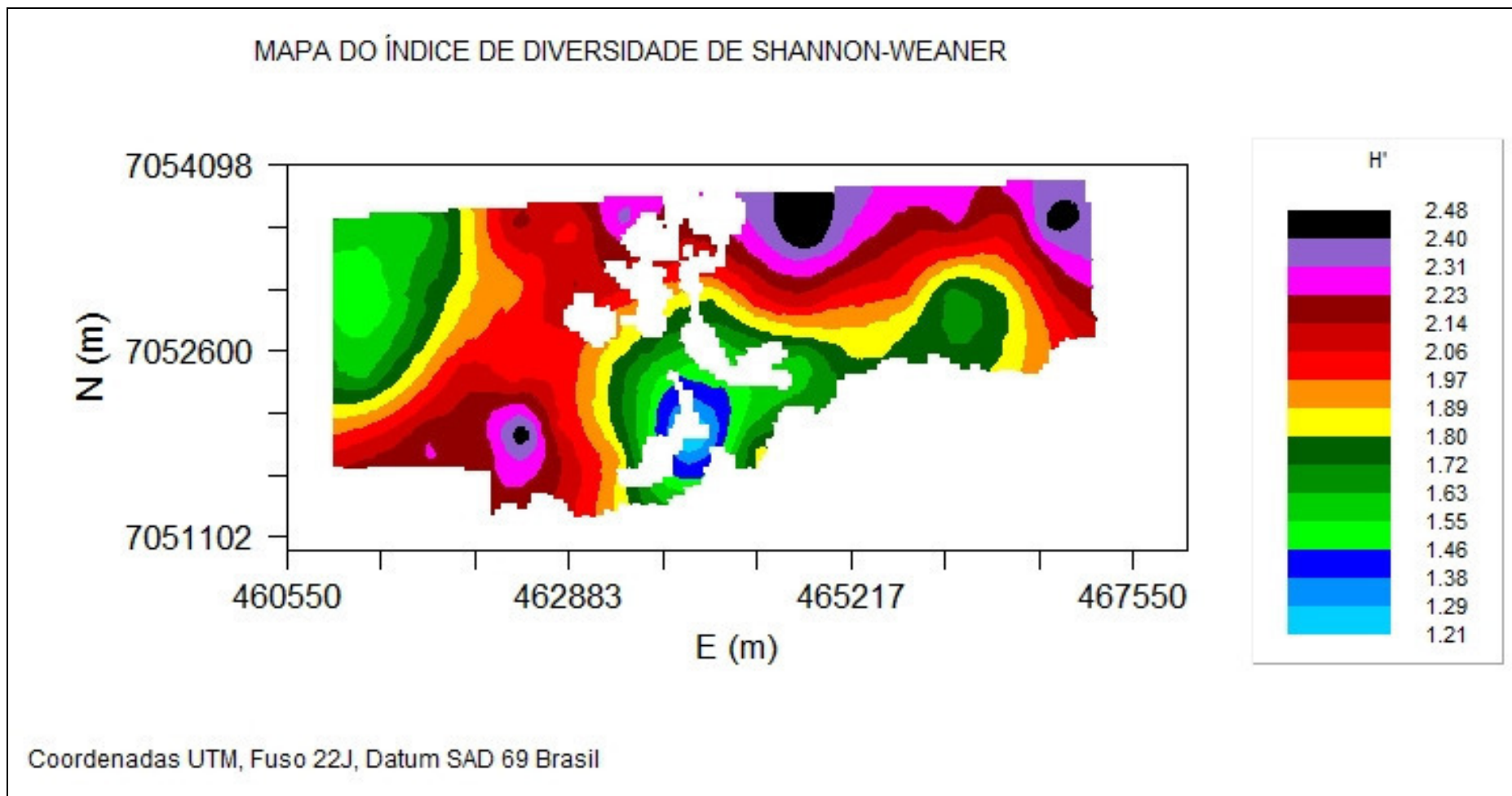


Figura 9. Mapa de isovalores para o Índice de diversidade de Shannon-Weaner

De forma geral o fragmento apresentou H' de 3,42 nats ind⁻¹, o que pode ser considerado como uma diversidade mediana, visto que Klauberg et al. (2010) e Nascimento et al. (2001) encontraram, em fragmentos de FOM, H' de 3,05 e 3,0 nats ind⁻¹, respectivamente, considerando-os como um índices medianos de diversidade, em função das ações antrópicas a que os locais foram submetidos. Watzlawick et al. (2005) encontraram $H' = 3,26$, considerando-o como elevada a diversidade, tendo como base o intervalo de 1,50 a 3,50, para o H' na FOM (DURIGAN, 1999). Porém, como exemplo de alta diversidade, pode-se citar o $H' = 8,11$, avaliando indivíduos com DAP ≥ 5 cm, encontrado por Negrelle e Silva (1992), em um trecho de FOM, em Caçador-SC.

Galvão et al. (1989) estudando as principais associações arbóreas na Floresta Nacional de Irati-PR, sendo FOM a vegetação predominante, influenciada por múltiplas condições de sítio e por apresentar antecedentes de exploração diferenciados, observaram que as formações pioneiras eram mais homogêneas, quanto a composição de espécies, em relação à outras 4 unidades de levantamento (associações arbóreas diferentes), apresentando menor diversidade. Isso mostra que a exploração intensiva reduz o número de espécies e pode levar um fragmento de estágio médio/avançado à condição de formação pioneira ou estágio inicial de regeneração, empobrecendo a floresta, situação observada na área de estudo, em regiões onde ocorre a dominância de taquara.

O índice de dominância de Simpson (C'), para as unidades amostrais, variou de 0,49 a 0,98 (Tabela 1), e apresentou bons resultados na análise variográfica (Tabela 2), mediante análise do semivariograma (Figura 10) e da validação cruzada (Figura 11), contendo forte dependência espacial (99%).

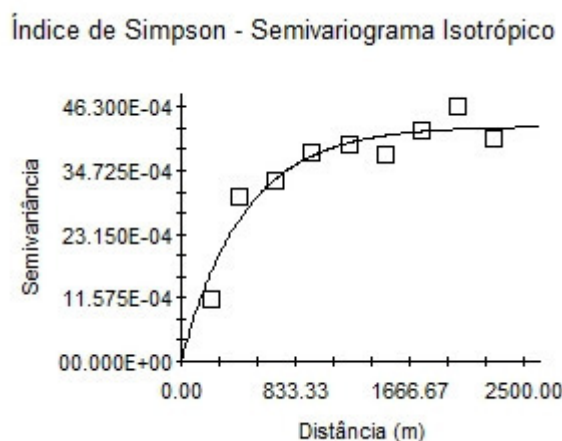


Figura 10. Semivariograma para o Índice de dominância de Simpson

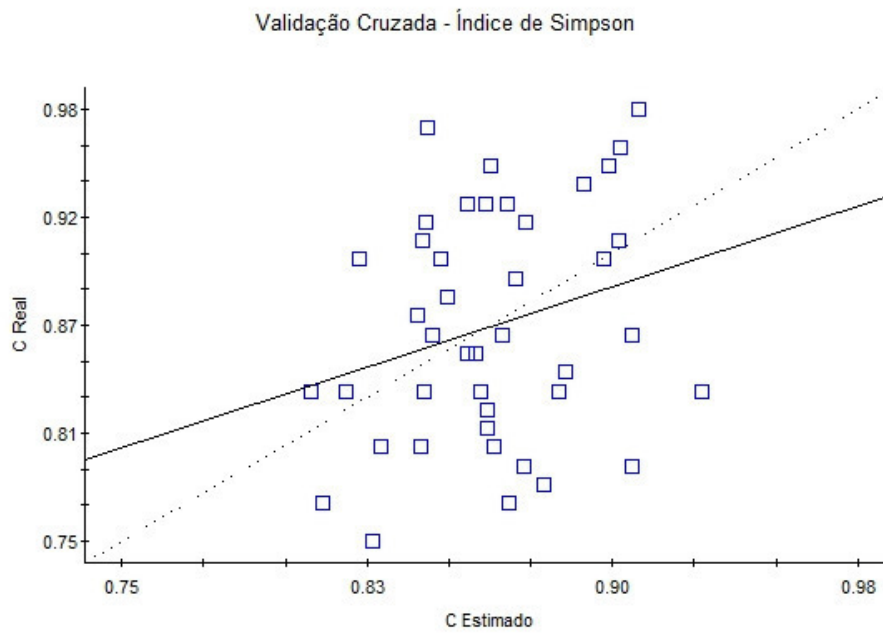


Figura 11. Validação Cruzada para o Índice de dominância de Simpson

O mapa de isovalores obtido (Figura 12) mostra uma região com menor dominância, o que significa maior diversidade (valores próximos de 1), sendo esta região muito similar a observada no mapa do índice de Shannon, ou seja, quanto maior a diversidade menor a dominância.

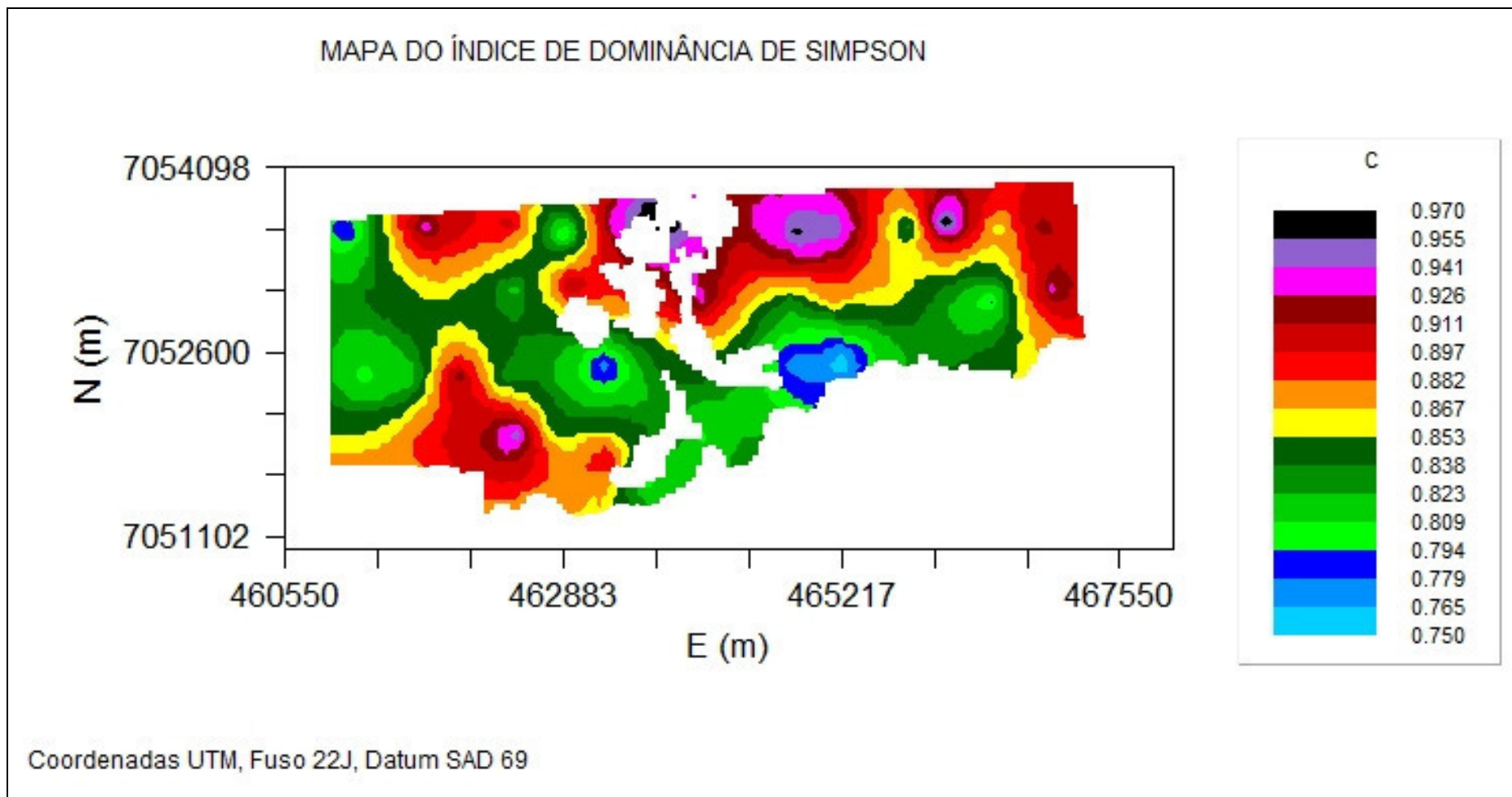


Figura 12. Mapa de isovalores para o Índice de dominância de Simpson

O C' geral para o fragmento foi de 0,95, valor muito superior e discrepante quando comparado aos encontrados por Watzlawick et al. (2005) e Klauberg et al. (2010), de 0,04 e 0,068, respectivamente, semelhante ao observado por Durigan (1999), 0,951. Klauberg et al. (2010) consideraram o resultado como demonstrativo de uma área diversa, justificando que a probabilidade de ser encontrado o mesmo indivíduo (que na verdade deveria ser a mesma espécie), numa escolha aleatória de 6,8%, dizendo que quanto menor o valor de C' , menor a dominância e maior a diversidade. Já Watzlawick et al. (2005) surpreendem-se com o baixo valor de C' , considerando-o baixo, sem fazer inferência para a diversidade da floresta, mas que parecem compartilhar do critério de que quanto mais próximo de 1, maior a diversidade.

Segundo Schaaf et al. (2006), esse índice é considerado bom para representação da diversidade, pois leva em consideração não só o número de espécies, mas também a uniformidade da distribuição da densidade.

O índice de equabilidade de Pielou (J') nas unidades amostrais, variou de 0,53 a 1,00 (Tabela 1), apresentou bons resultados na análise variográfica (Tabela 2), tendo forte dependência espacial (99%), mas a validação cruzada começa a indicar problemas de discrepâncias entre dados estimados e reais. A figura 13 apresenta o semivariograma e a figura 14 a validação cruzada, resultantes da análise variográfica.

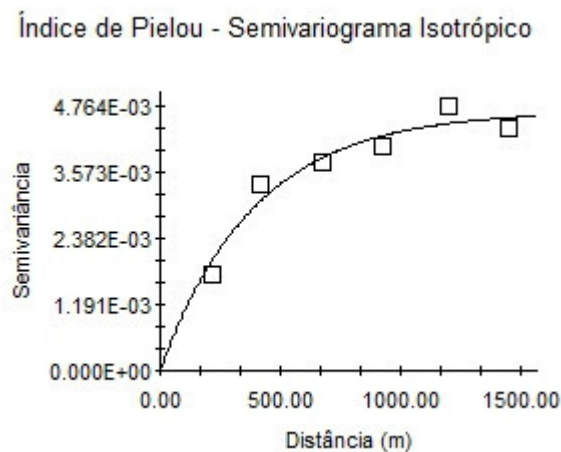


Figura 13. Semivariograma para o Índice de equabilidade de Pielou

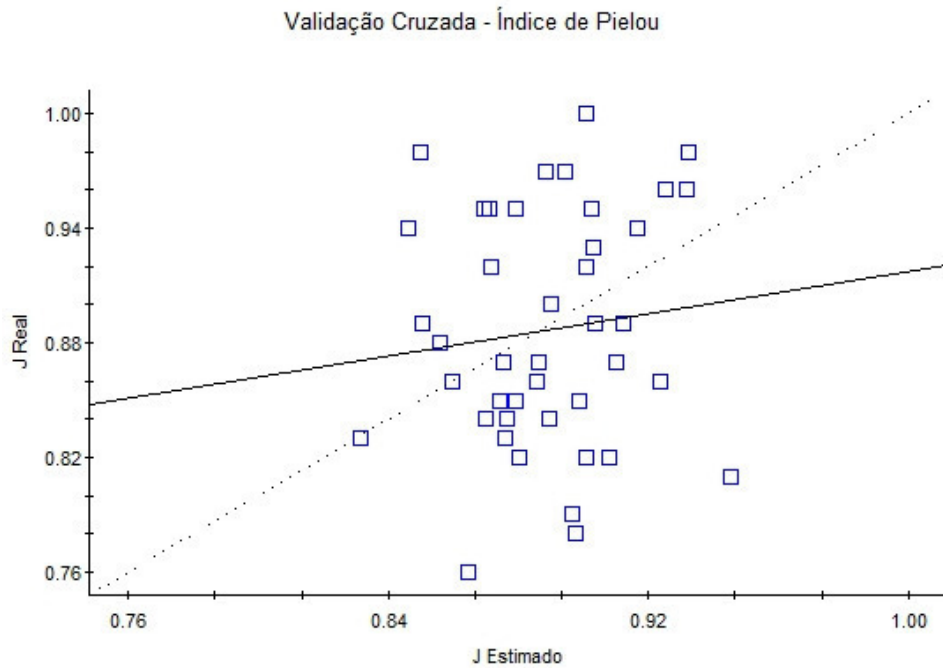


Figura 14. Validação Cruzada para o Índice de equabilidade de Pielou

O mapa obtido (Figura 15) mostra a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes, sendo que quanto mais próximo de 1 maior a uniformidade entre o número de indivíduos das espécies presentes, ou seja, menor a dominância de uma espécie na amostra (maior diversidade), apresentando regiões similares aos dois mapas anteriores.

O J' geral encontrado para o fragmento foi de 0,83, similar ao obtido por Klauberg et al. (2010), 0,81, e Kozera et al. (2006), 0,82, podendo ser inferido que o valor indica alta uniformidade nas proporções indivíduos/espécies que constituem esta comunidade, também descrito por Oliveira e Amaral (2004) em seu trabalho, sendo que a equabilidade é diretamente proporcional à diversidade e, antagônica à dominância.

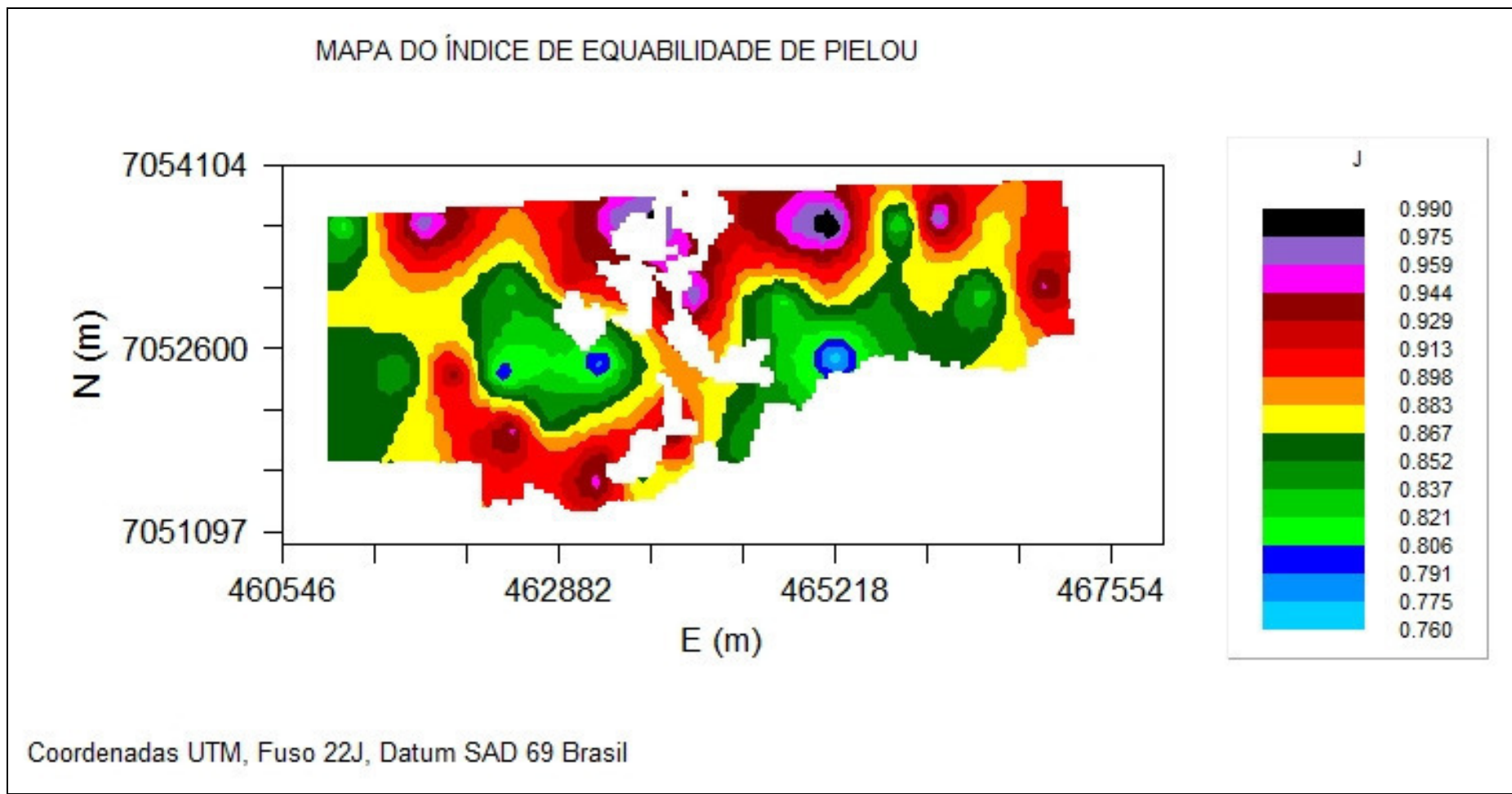


Figura 15. Mapa de isovalores para o Índice de equabilidade de Pielou

Para as espécies sugeridas, a utilização da metodologia apresentou alguns problemas, como o grande número de espécies que não ocorreram em todas as unidades amostrais (problema de distribuição), ou seja, unidades amostrais com valor zero para determinada espécie, o pequeno número de indivíduos amostrados para estas espécies (problema de densidade de indivíduos), e os grandes erros quando se extrapolava o número de indivíduos encontrados na unidade amostral (500 m²) para um hectare (10.000 m²), multiplicando por 20 esses valores, o que dificilmente corresponderia a realidade, devido a situação de floresta alterada, aumentando também a variância da amostra, dificultando muito o ajuste dos semivariogramas. Assim, foi possível avaliar somente a distribuição espacial do xaxim (*Dicksonia sellowiana* Hook), da bracatinga (*Mimosa Scabrella* Benth) e da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill.), utilizando o número de indivíduos por unidade amostral.

A *Dicksonia sellowiana* foi a espécie que apresentou o maior IVI e IVC, com 121 indivíduos amostrados em 26 das 45 ua., correspondendo a aproximadamente 93 indivíduos por hectare, considerando o total de indivíduos observados pela área total amostrada, onde estes ocorreram (121 ind./ (26 ua. x 500 m²)), variando de 0 a 14 indivíduos com DAP ≥10 cm nas unidades amostrais (Tabela 1), onde foi possível realizar a análise variográfica (Tabela 2), tendo forte dependência espacial (99%) com alcance de 784,62 m, porém com alta soma dos quadrados dos resíduos (SQR = 25,80). A figura 16 apresenta o semivariograma e a figura 17 a validação cruzada para esta variável.

Semivariograma isotrópico - N. ind. *D. sellowiana*

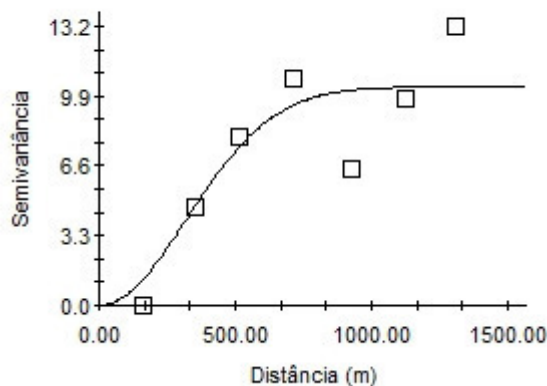


Figura 16. Semivariograma para o número de indivíduos de *D. sellowiana* por ua.

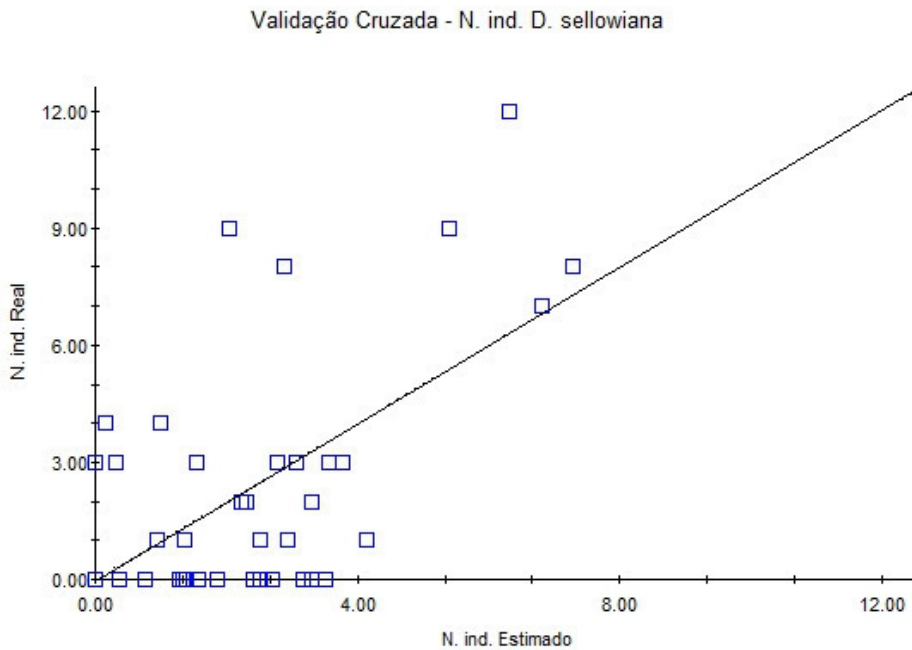


Figura 17. Validação Cruzada para o número de indivíduos de *D. sellowiana* por ua.

Klauberger et al. (2010) obtiveram um número total de 92 indivíduos observados, valor próximo ao obtido neste trabalho, e destacaram a *D. sellowiana* como uma das espécies com maior número de indivíduos por hectare, em função de um possível favorecimento dado pelas condições de sítio, uma vez que não foi mencionada em nenhum estudo como espécie com abundância de indivíduos, sendo que sua ocorrência se dá em um ambiente específico, no caso, em encosta úmida. Para Klein (1979) pode também ocorrer de forma esporádica, pelo tipo de formação florestal. Vale ressaltar que a espécie não é exclusiva dessa tipologia florestal podendo ser encontrada em outras tipologias também (KLAUBERGER et al., 2010).

O mapa obtido (Figura 18) mostra a distribuição espacial do xaxim na área de estudo, que está relacionada como as encostas e áreas úmidas (próximas a rede de drenagem).

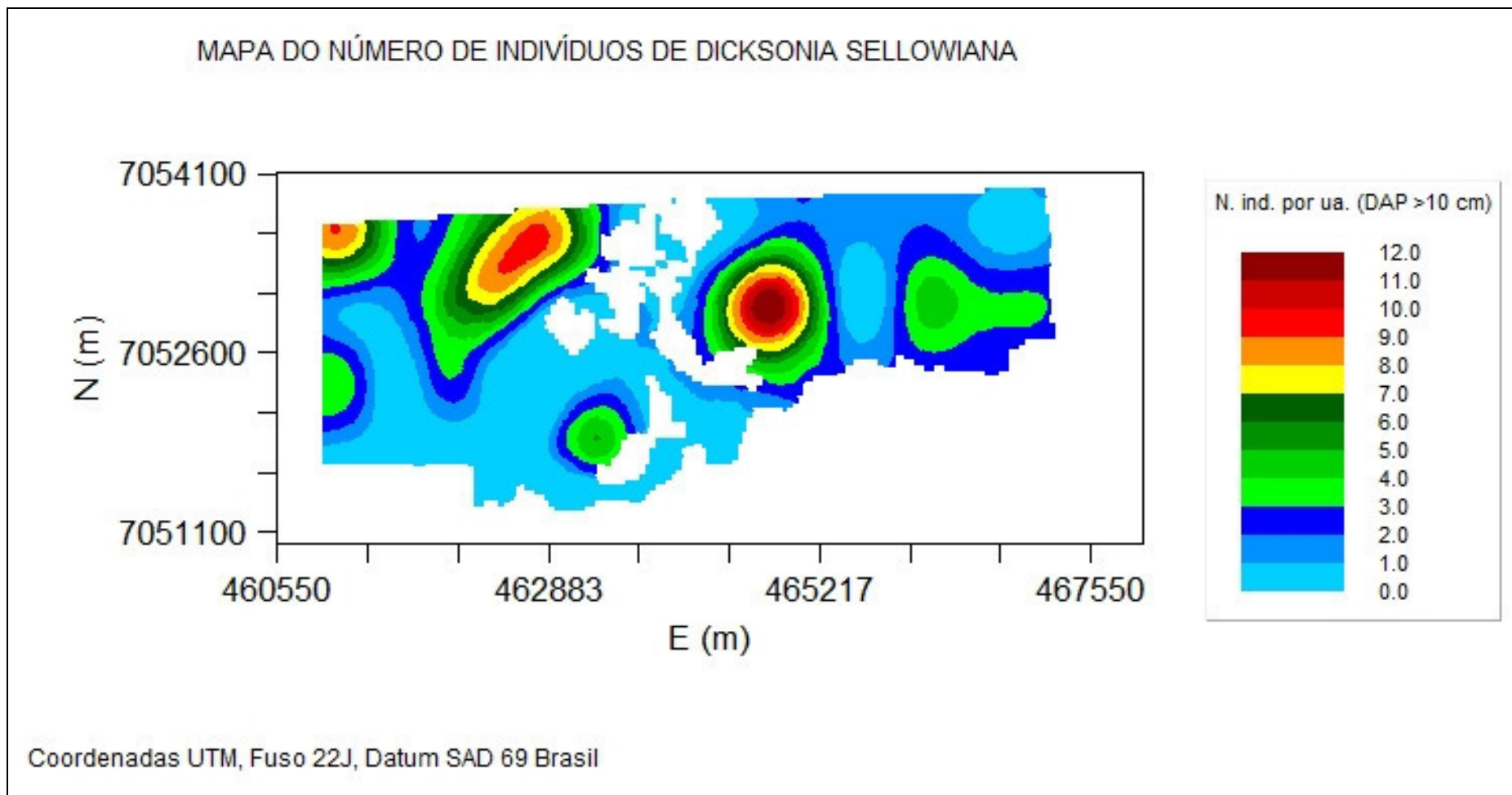


Figura 18. Mapa de isovalores para o número de indivíduos de *Dicksonia sellowiana* por unidade amostral

Watzlawick et al. (2005) relataram um número total de 7 indivíduos amostrados para a espécie no fragmento de FOM avaliado em General Carneiro-PR, possivelmente por ter sido explorada de modo que não houvesse um maior número de indivíduos com o DAP mínimo para ser incluída no levantamento florístico, valor muito inferior ao observado neste trabalho (121 indivíduos).

A *Mimosa scabrella* (bracatinga) teve 72 indivíduos amostrados, estando presente em 17 das 45 ua., correspondendo a aproximadamente 86 indivíduos por hectare, considerando o total de indivíduos observados pela área total amostrada, onde estes ocorreram ($72 \text{ ind.}/(17 \text{ ua.} \times 500 \text{ m}^2)$), variando de 0 a 13 indivíduos com DAP ≥ 10 cm nas unidades amostrais (Tabela 1). A análise variográfica apresentou bons resultados, tendo forte dependência espacial (78%), alcance de 1044,00 m e SQR de 14,50 (Tabela 2), semivariograma (Figura 19) e validação cruzada satisfatórios (Figura 20).

N. ind. de *M. scabrella* - Semivariograma Isotrópico

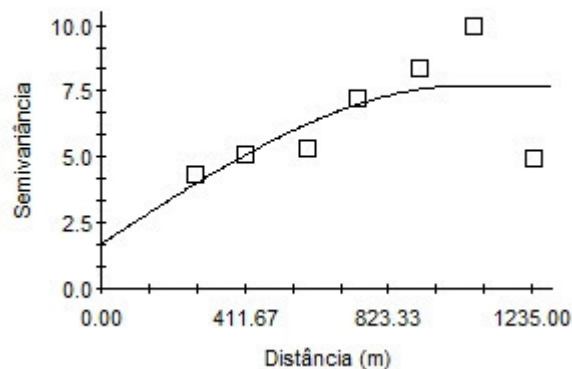


Figura 19. Semivariograma para o número de indivíduos de *M. scabrella* por ua.

Watzlawick et al. (2005) encontraram, para bracatinga, um número total de 4 indivíduos amostrados e Klauberg et al. (2010) encontraram apenas 1, valores bastante inferiores ao aqui encontrados. Todas essas informações são coerentes, possivelmente ligadas ao ciclo de vida da espécie, que naturalmente acaba saindo da floresta conforme esta evolui no seu estágio sucessional, dando lugar a outras espécies mais especializadas para as novas condições ambientais.

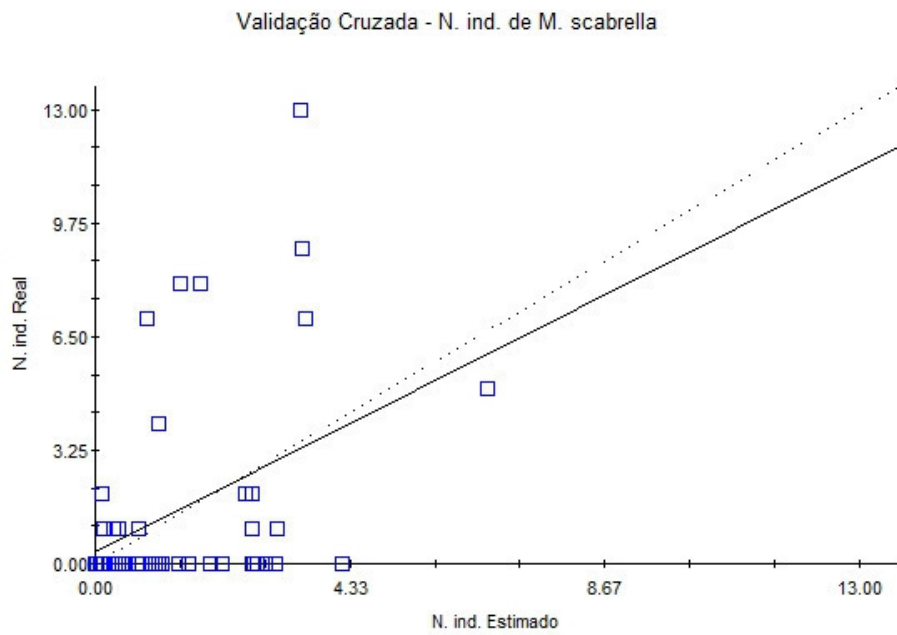


Figura 20. Validação Cruzada para o número de indivíduos de *M. scabrella* por ua.

O mapa obtido (Figura 21) mostra uma área específica com o maior número de indivíduos amostrados por unidade amostral, coerente como o observado no campo.

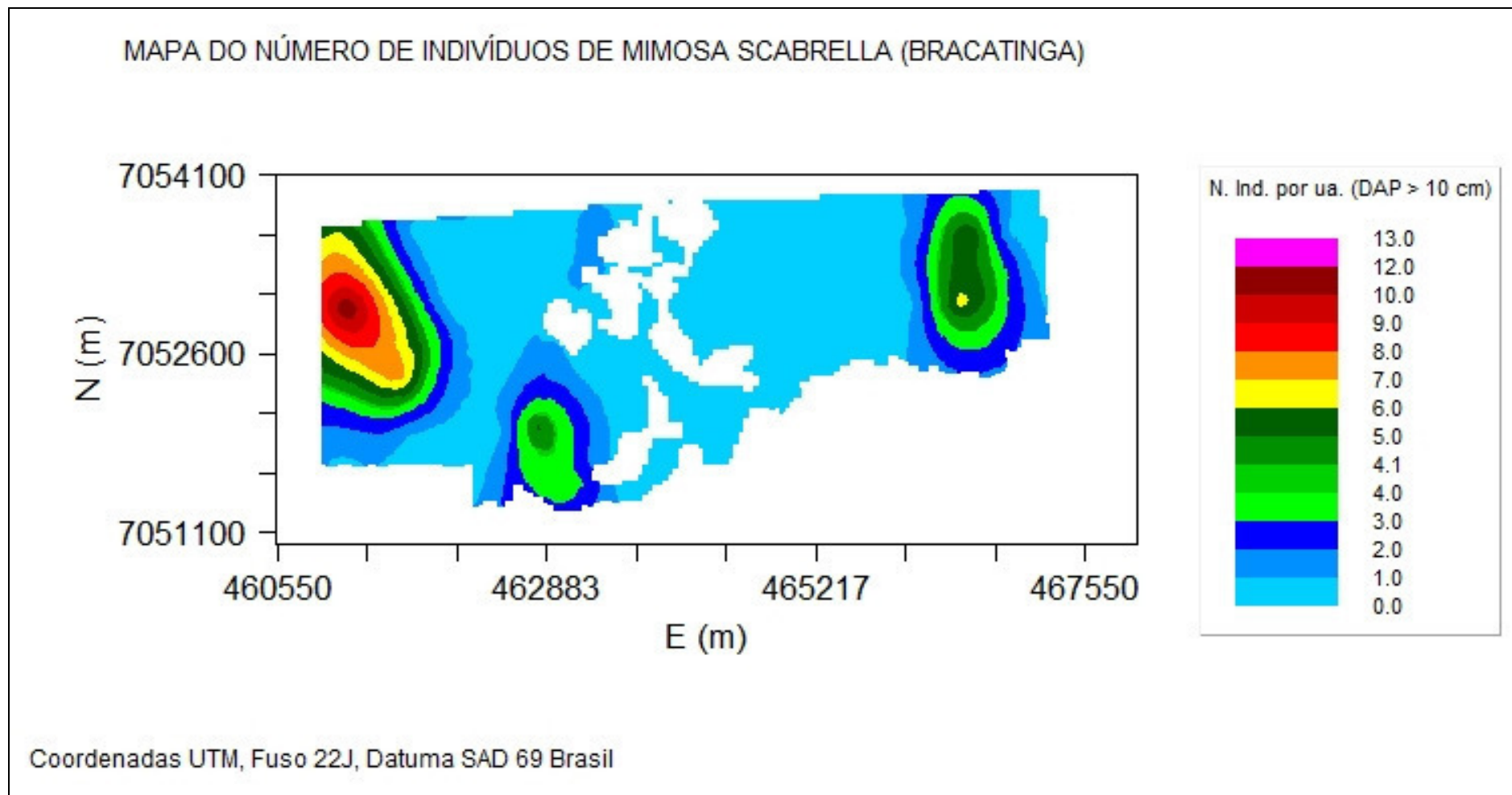


Figura 21. Mapa de isovalores para o número de indivíduos de *Mimosa scabrella* por unidade amostral

Para *Ilex paraguariensis* (erva-mate) foram amostrados 41 indivíduos, presentes em 26 das 45 ua., correspondendo a aproximadamente 32 indivíduos por hectare, considerando o total de indivíduos observados pela área total amostrada, onde estes ocorreram (41 ind./ (6 ua. x 500 m²)), variando de 0 a 4 indivíduos com DAP ≥ 10 cm nas unidades amostrais (Tabela 1). Watzlawick et al. (2005) amostraram um número total de 14 indivíduos de erva-mate, e Klauberg et al. (2010) apenas 1, números inferiores ao observado no presente trabalho, 41 indivíduos. A análise variográfica apresentou bons resultados, tendo forte dependência espacial (99%), alcance de 770,76 m, um baixo SQR, 0,178 (Tabela 2), semivariograma (Figura 22) e validação cruzada satisfatórios (Figura 23).

N. ind. *Ilex paraguariensis* - Semivariograma Isotrópico

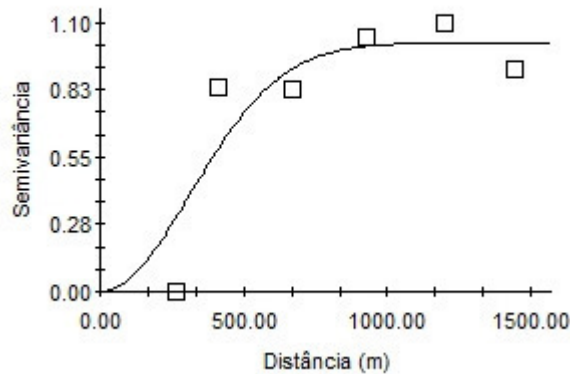


Figura 22. Semivariograma para o número de indivíduos de *Ilex paraguariensis* por ua.

Validação Cruzada - N. ind. de *Ilex paraguariensis*

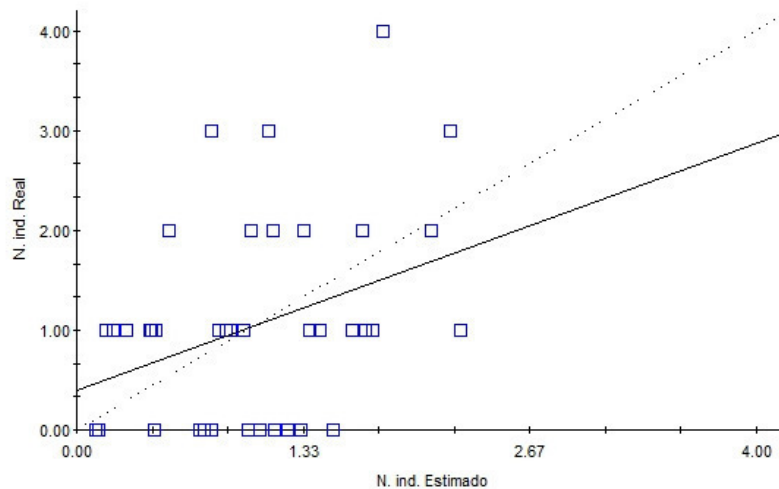


Figura 23. Validação Cruzada para o número de indivíduos de *Ilex paraguariensis* por ua.

O mapa obtido (Figura 24) mostra as regiões onde a erva-mate ocorreu, contudo na maior parte da área ela não estava presente, possivelmente devido ao fato desta ser uma espécie que ocupa estratos intermediários da floresta exigindo condições ambientais específicas, que não se encontram em áreas ocupadas por taquara.

Segundo Golley et al. (1978), a biomassa representa a matéria orgânica armazenada no ecossistema, que juntamente com informações dos teores dos elementos minerais e carbono, pode-se, por exemplo, calcular o reservatório destes em uma floresta.

Para a biomassa arbórea total acima do solo, houve uma forte dependência espacial, 79,0%, observada na análise variográfica (Tabela 2), interpolando-a em Megagrama por unidade amostral (Mg ua^{-1}), onde a mesma variou de 1,47 a $12,01 \text{ Mg ua}^{-1}$ (Tabela 1), correspondendo a $29,40$ e $240,20 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. A figura 25 apresenta o semivariograma e a figura 26 a validação cruzada para biomassa, gerados na análise espacial, apresentando ainda um SQR de 0,0112 e alcance de 1983 m.

O mapa obtido (Figura 27) mostra claramente as regiões com a maior biomassa presente na área de estudo, estando relacionadas aos morros e encostas, onde possivelmente tenha ocorrido uma retirada de madeira menos intensa em função da topografia (dificuldade de realizar operações de corte e retirada da madeira). Pelo fato de ser utilizada uma equação desenvolvida em outra área, mesmo sendo próxima a área de estudo, pode haver erros de estimativa da equação alométrica, mas mesmo assim o resultado é importante, pois consegue caracterizar o comportamento do acúmulo de biomassa, sendo o valor absoluto desta, uma informação secundária.

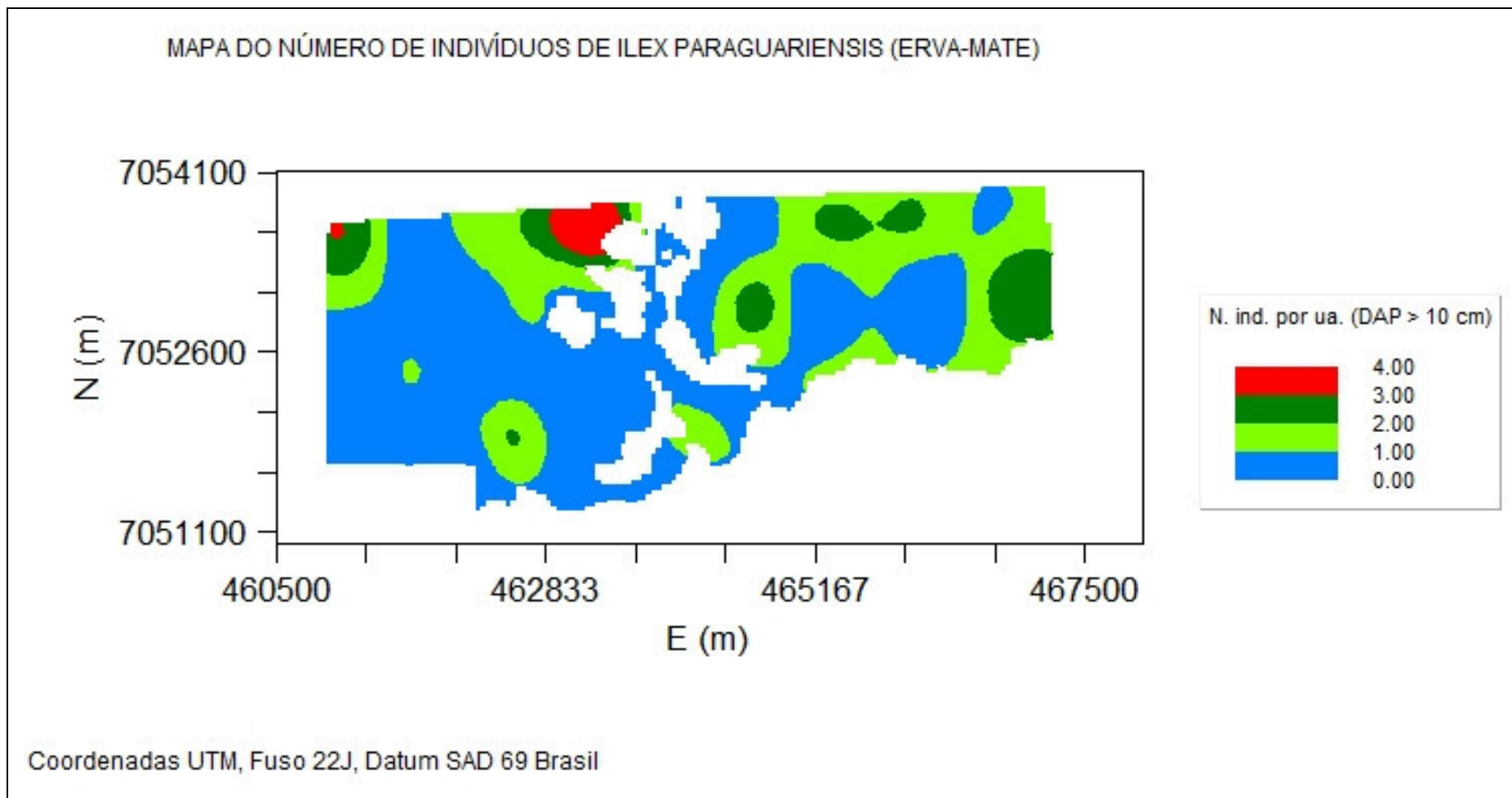


Figura 24. Mapa de isovalores para o número de indivíduos de *Ilex paraguariensis* por unidade amostral

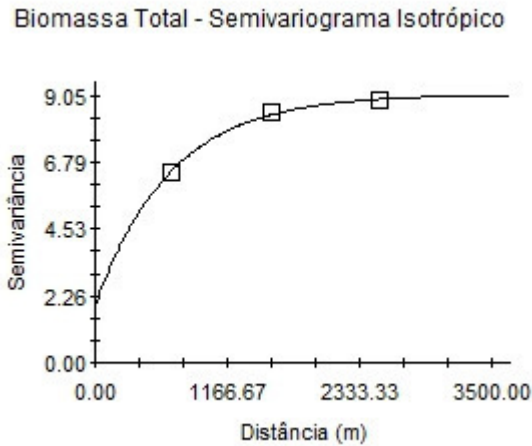


Figura 25. Semivariograma para a biomassa arbórea total acima do solo

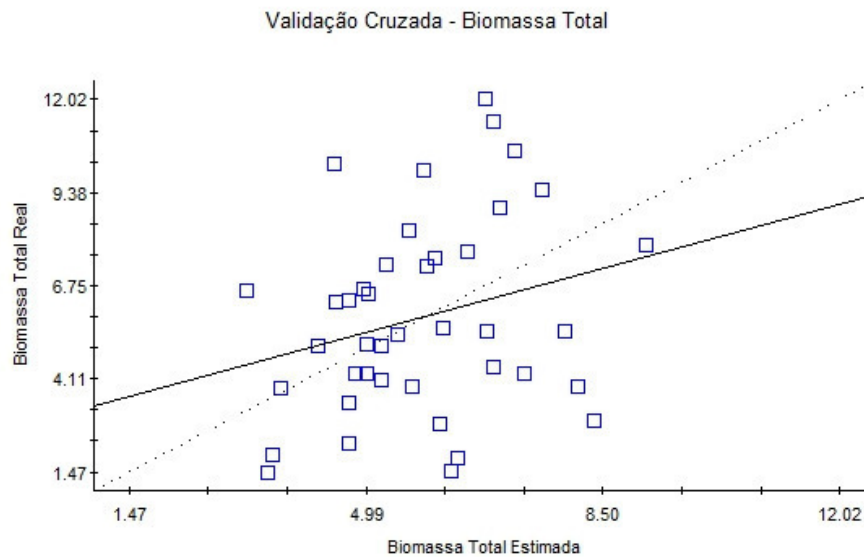


Figura 26. Validação Cruzada para a biomassa arbórea total acima do solo

Watzlawick (2003), avaliando e mapeando biomassa e carbono na FOM, numa propriedade florestal em General Carneiro-PR, encontrou uma biomassa média para árvores, acima do solo, de $250,90 \text{ Mg ha}^{-1}$, média superior a encontra para a área de estudo, $115,19 \text{ Mg ha}^{-1}$, possivelmente pelo fato da floresta estudada por ele ter sido explorada com menor danos, e manejada de forma diferente.

O acúmulo de biomassa é dependente de fatores que afetam a fotossíntese e respiração (KRAMER e KOZLOWISKI, 1972), incluindo fatores edafoclimáticos, adaptação genética da espécie, estágio sucessional da vegetação, competição, altitude, procedência, umidade do solo, espaçamento e desbaste (CALDEIRA, 1998).

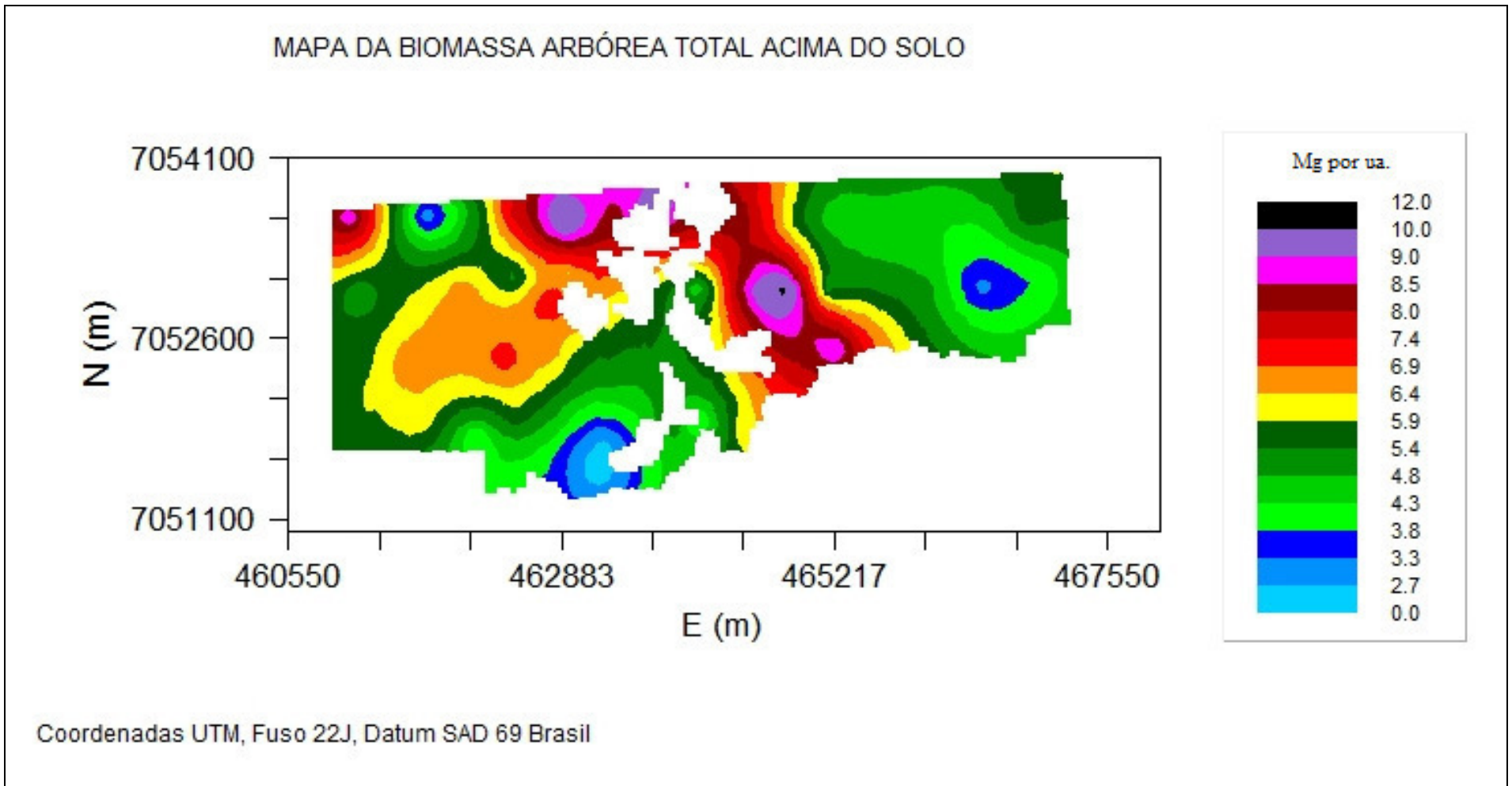


Figura 27. Mapa de isovalores para biomassa arbórea total acima do solo por unidade amostral

Houghton (1994) relatou que tipos diferentes de floresta armazenam diferentes quantidades de carbono dentro de sua biomassa e que locais diferentes dentro de um mesmo tipo de floresta também variam muito com relação a quantidade de biomassa. Segundo Campos (1991) e Caldeira (1998), a produção de biomassa é diferente de local para local, o que reflete a variação de diversos fatores ambientais e daqueles inerentes à própria planta, existindo uma relação entre biomassa e produtividade primária, sendo baixa em povoamentos jovens de rápido crescimento, e maior, onde a maior parte da energia é utilizada para manter o alto estoque de biomassa existente.

As metodologias de inventário de biomassa bem como as várias equações desenvolvidas até hoje podem ser impróprias para determinadas situações, apresentando super ou subestimativas de biomassa, observado por Koehler et al. (2002). Mas o concreto mesmo é que ainda existem muita polêmica e controvérsias para as estimativas de biomassa (HIGUCHI e CARVALHO JÚNIOR, 1994).

Para o Carbono total presente na biomassa avaliada, também houve uma forte dependência espacial (90%), porém com um SQR menor ($5,660E-04$) em relação ao da biomassa, observado na análise variográfica (Tabela 2), sendo também interpolado em $Mg\ ua^{-1}$, onde o mesmo variou de 0,64 a 5,06, correspondendo a 12,80 e $101,20\ Mg\ ha^{-1}$, respectivamente. A figura 28 apresenta o semivariograma e a figura 29 a validação cruzada para o carbono total.

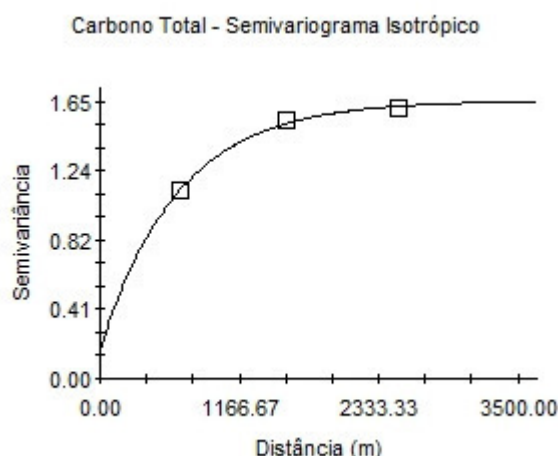


Figura 28. Semivariograma para carbono total da biomassa arbórea acima do solo

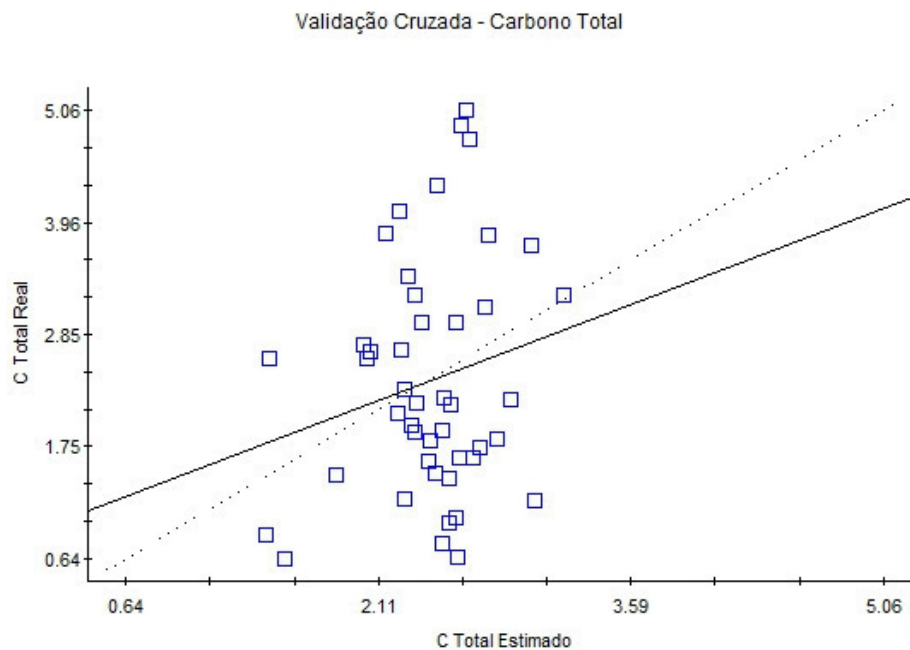


Figura 29. Validação Cruzada para carbono total da biomassa arbórea acima do solo

O mapa obtido (Figura 30) mostra claramente as regiões com as maiores quantidades de carbono presentes nas árvores na área de estudo, onde a justificativa utilizada para biomassa também se aplica ao carbono, devido a alta correlação existente entre os dois.

Watzlawick (2003) encontrou um média de $104,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono total na biomassa arbórea da FOM avaliada por ele, valor também superior ao aqui observado, $47,91 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono total, mostrando haver diferença entre os fragmentos de FOM.

Para biomassa e carbono não foi possível utilizar os dados em Kg, nem extrapolá-los para hectares, pois assim aumentava-se muito a variância das amostras, mostrada na análise estatística descritiva (Tabela 1), o que dificultava o ajuste do semivariograma teórico ao experimental, interferindo na validação cruzada, resultando em grandes erros de estimativa, optando-se então em utilizar os dados nas unidades presentes no trabalho.

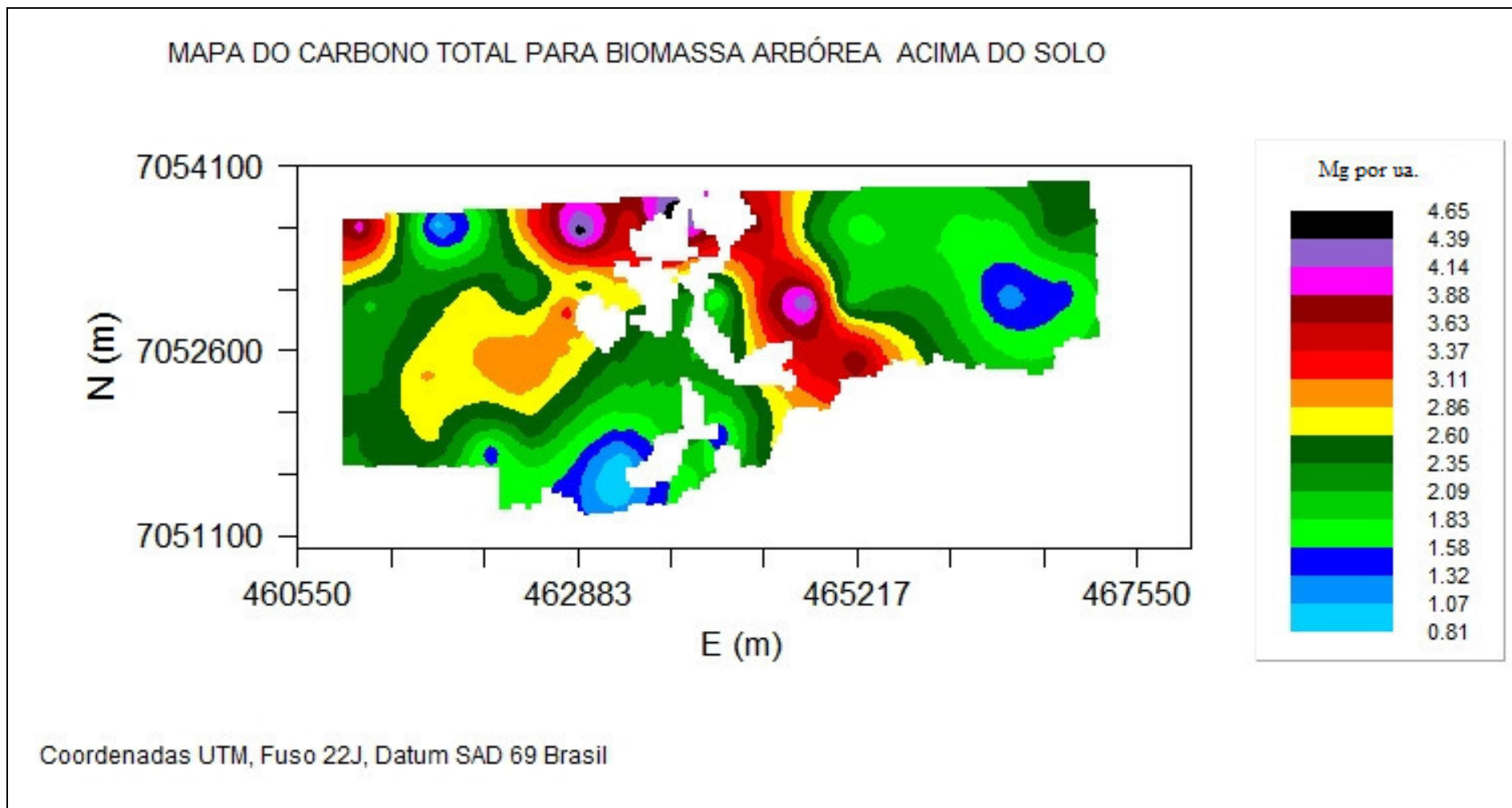


Figura 30. Mapa de isovalores para o carbono total na biomassa arbórea total acima do solo por unidade amostral

De uma maneira geral os dados que apresentaram menor variância das amostras permitiram melhores ajustes dos semivariogramas, resultando em estimativas mais corretas, mas ainda assim contendo erros. Para minimizar esses erros, foram geradas, durante a validação cruzada, equações para as correções destes, presentes na tabela 3, sendo uma tentativa de correção, que em função do baixo r^2 , não geraram grande influência nos dados estimados.

Também foi observado que as variáveis que continham informações sobre toda a unidade amostral, como por exemplo, os índices (Shannon, Simpson e Pielou) apresentaram melhores resultados, em relação aquela que continham informações parciais, como por exemplo, número de indivíduos das espécies escolhidas, e em relação à área basal e número de indivíduos, que também são informações de toda a unidade amostral, a diferença é que estas são informações quantitativas, e sofreram maior influência da alteração da floresta, visto que apresentaram as maiores variâncias das amostras (Tabela 1) e maiores SQR (Tabela 2), e os índices são essencialmente qualitativos, para o H' , por exemplo, a perda de parte do total de indivíduos de uma determinada espécie não o altera, mas altera a área basal e o número de indivíduos, total e da espécie, na unidade amostral.

Tabela 3. Validação cruzada da krigagem para as variáveis analisadas no fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária

Validação cruzada da krigagem das variáveis do fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária, General Carneiro-PR				
Variável	Erro Padrão	Erro Padrão Estimado	R ²	Equações
N. de indivíduos por ua.	0,443	13,390	0,016	Valor Real = 14,64 + 0,365 . Valor Estimado
Área Basal – G(m ² ha ⁻¹)	0,705	10,757	0,019	Valor Real = 7,87 + 0,651 . Valor Estimado
N. de espécies por ua.	0,250	3,098	0,159	Valor Real = 2,87 + 0,712 . Valor Estimado
Índice de Shannon-Weaner	0,174	0,279	0,375	Valor Real = 0,28 + 0,862 . Valor Estimado
Índice de Simpson	0,326	0,060	0,068	Valor Real = 0,38 + 0,558 . Valor Estimado
Índice de Pielou	0,387	0,061	0,013	Valor Real = 0,64 + 0,275 . Valor Estimado
N. ind. <i>D. sellowiana</i> por ua.	0,234	2,557	0,334	Valor Real = 0,05 – 1,007 . Valor Estimado
N. ind. <i>M. scabrella</i> por ua.	0,297	2,819	0,160	Valor Real = 0,32 + 0,851 . Valor Estimado
N. ind. <i>I. paraguariensis</i> por ua.	0,273	0,960	0,122	Valor Real = 0,40 + 0,619 . Valor Estimado
Biomassa Total (MG) por ua.	0,308	2,668	0,067	Valor Real = 2,84 + 0,517 . Valor Estimado
Carbono Total (MG) por ua.	0,280	1,124	0,073	Valor Real = 1,25 + 0,491 . Valor Estimado

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fragmento de FOM mostrou-se muito alterado, em virtude dos vários ciclos de utilização identificados, sendo o mais impactante a exploração madeireira, levando a perda de matriz da floresta, e ocupação por taquaras, configurando uma situação de distúrbio na floresta, influenciando os resultados obtidos. Deve ser considerado ainda que o fim da extração de madeira no fragmento possui menos de 10 anos, período insuficiente para a regeneração da floresta.

Os índices (diversidade, dominância e equabilidade) apresentaram os melhores resultados, por não sofrerem grande influência dos distúrbios da floresta, em relação às demais variáveis.

Entre estes o Índice de diversidade de Shannon-Weaner apresentou o melhor resultado, considerando a análise variográfica, a validação cruzada e o mapa obtido, que atendeu todos os requisitos para uma estimativa satisfatória, contendo uma baixa variância das amostras de 0,1496 (estatística descritiva), baixo SQR de 6,497E-03, forte dependência espacial (87%), alcance de 1975,00 m (análise semivariográfica), erro padrão estimado de 0,279, retas praticamente sobrepostas e boa distribuição dos pontos na validação cruzada, resultando em um mapa com mudança gradativa de valores, considerado ótimo, e o mais importante, representando o comportamento do fragmento florestal.

O número de indivíduos por ua. e área basal (G) não apresentaram resultados satisfatórios. Os resultados obtidos para as demais variáveis foram satisfatórias, mesmo que algum dos requisitos desejáveis não tenham sido atendidos em algum momento durante as análises das diversas variáveis.

A alta variância das amostras, em função do estado da floresta, foi o fator que dificultou o ajuste dos semivariogramas, aumentando a soma dos quadrados dos resíduos, interferindo na krigagem.

A geoestatística, pela técnica da krigagem, mostrou grande potencial para trabalhos de mapeamento de variáveis relacionadas à floresta, onde todas as variáveis mostraram forte dependência espacial, mostrando que as pesquisas e os estudos sobre florestas não podem restringir-se apenas à estatística clássica, que não considera o componente espacial na variância dos dados.

Este trabalho possui resultados muito semelhantes os observados na bibliografia, sendo, o mapeamento das informações obtidas aqui realizado, o diferencial entre os

trabalhos, assim como outros tantos que desconhecem o potencial da geoestatística para caracterizar florestas, dificultando uma maior discussão sobre as análises, mapas obtidos e a visualização do comportamento espacial das variáveis dentro da área de estudo, trabalho este que deve ser realizado por mais pesquisadores, em diferentes formações vegetais, uma vez que de posse dessas informações facilita-se em muito o manejo, a conservação, ou qualquer outra ação a ser realizada numa floresta ou vegetação.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROWER, J.E.; ZARR, J.H. **Field & laboratory methods for general ecology**. Iowa: Wm. C. Brown Company, 2ª edição, 1984, 226p.

CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Santa Maria, 1998. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CAMPOS, M.A.A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. Curitiba, 1991. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ; EMBRAPA-SPI, 1994. 640p.

CASTELA, P.R. (Coord.). **Conservação do bioma Floresta com Araucária: relatório final**. Curitiba: FUPEF, v.1/2. 2001.

CUSTÓDIO F. A.; FRANCO, G.A.D.C.; DIAS, A.C. Composição florística de um trecho de floresta pluvial atlântica, em regeneração natural após desmatamento diferenciado em Pariqüera-açu, SP - Brasil. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, 1994.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista** em São João do Triunfo - PR. Curitiba, 1999. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS - ITCG. **Geomorfologia – Estado do Paraná**. 2008

FUPEF, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. **Inventário florestal do pinheiro no sul do Brasil**. Curitiba, 1978, p.327.

FUPEF-CNPq (Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). **Conservação do bioma Floresta com Araucária**. Curitiba: Relatório Final, v. 1 e 2, 2001.

GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; RODERJAN, C.V. Levantamento fitossociológico das principais associações arbóreas da Floresta Nacional de Irati-PR. **Floresta**, v. 19, n. 1 e 2, 1989. p.30-49.

GILHUIS, J.P. **Vegetation survey of the Parque Florestal Estadual do Rio Doce, MG, Brazil**. Viçosa, 1986.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, Editora CALQ/ESALQ, 1976. 250p.

GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.L.; DUEVER, M.J. **Clicagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. Tradução de Eurípedes Malavolta – São Paulo: EPU. Editora da USP, 1978. 256p.

GREIG-SMITH, P. **Quantitative plant ecology**. 3. ed. Oxford: Blackwell, 1983. 359p.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J.A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas na Amazônia. In: Emissões x seqüestros de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994. **Anais ...** Rio de Janeiro, 1994, p.125-153.

HOUGHTON, R.A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: Emissões x seqüestros de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994. **Anais ...** Rio de Janeiro, 1994, p.38-76.

KLEIN, R.M. Observações e considerações sobre a vegetação do nordeste catarinense. **Sellowia**, v. 15, 1963. p.39-56.

KLEIN, R.M. **Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina**. Flora Ilustrada Catarinense, Itajaí, Brasil, 1978. 24pp.

KLEIN, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, v. 31, 1979. p.11-164.

KLEIN, R.M. Os tipos florestais com *Araucaria* em Santa Catarina. XXXVI Congresso Nacional de Botânica. **Anais ...**, Curitiba, Brasil, 1985. p.101-119.

KLAUBERG, C.; PALUDO, G.F.; BORTOLUZZI, R.L.C.; MANTOVANI, A. Florística e estrutura de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Planalto Catarinense. **Revista Biotemas**, v. 23, n. 1, mar. 2010, p.35-47.

KOEHLER, H.S.; WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F. Fontes e níveis de erros nas estimativa do potencial de fixação de carbono. In: SANQUETTA, C.R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002, p.251-264.

KOZERA, C.; DITTRICH, V.A.O.; SILVA, S.M. Fitossociologia do componente arbóreo de um fragmento de floresta ombrófila mista Montana, Curitiba, PR, BR. **Floresta**, v. 36, n.2, 2006. p.225-238.

KRAMER, R.J.; KOSLOWSKI, T.T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Gouldbenkian, 1972. 745p.

KREBS, A. Levantamento fitossociológico da formação - mata do Morro do Coco, Viamão, RS, Brasil. **Iheringia**, Série Botânica, n.23, p.65-108, 1978.

MACHADO, S.A; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Dendrometria. Guarapuava, UNICENTRO, 2ª. Edição, 2006. 316p.

MAGURRAN, A.E. **Diversidad ecológica y su medición**. Barcelona: Vedra, 200 p. 1989.

MARTINS, F.R. Fitossociologia de florestas no Brasil: um histórico bibliográfico. **Pesquisas - série Botânica**, v. 40, 1989. p.103-164.

MUELLER-DUMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods vegetation ecology**. New York: John Wiley e Sons, 1974. 547p.

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, 2001. p.105-119.

NEGRELLE, R.A.B.; SILVA, F.C. Fitossociologia de um trecho de floresta com *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no município de Caçador – SC. **Boletim Pesquisa Florestal**, 24/25, 1992. p.37-54.

OLIVEIRA, A.N.; AMARAL, I.L. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 1, 2004. p.21-34.

ONG PRESERVAÇÃO. **Situação atual do imóvel Reserva Paisagem Araucária, antiga Fazenda Paiol Velho, parte do imóvel denominado Fazenda Campo Alto no município de General Carneiro-PR**. Relatório de Situação, Guarapuava: ONG Preservação, 2007.

PIELOU, E.C. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. **Journal Theory Biology**, v. 10, 1966. p.370-383.

RATCHNE, L.C. **Equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista**. Guarapuava, 2010. 102f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.

RODRIGUES, R. R., GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares**. Páginas 235-247. In: R. R. Rodrigues e H. de F. Leitão Filho (eds.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. EDUSP, São Paulo. 2000.

RONDON NETO, R. M.; KOZERA, C.; ANDRADE, R. do R. de; CECY, A. T.; HUMMES, P. A.; FRITZSONS, E.; CALDEIRA, M. V. W.; MACIEL, M. de N. M.; SOUZA, M. K. F. de. Caracterização florística e estrutural de um fragmento de floresta ombrófila mista, em Curitiba, PR – Brasil. **Revista Floresta**. Curitiba, v.32, n.1, jan./jun. 2002. p. 3-16.

SCHAAF, L.B., FIGUEIREDO FILHO, A.; GALVÃO, F.; SANQUETTA, C.R.; LONGHI, S.J. Modificações florístico-estruturais de um remanescente de floresta Ombrófila Mista Montana no período entre 1979 e 2000. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, 2006. p.271-291.

SANQUETTA, C.R.; TETTO, A.F. **Pinheiro do Paraná: Lendas e Realidades**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2000. 112p.

SILVA, A. L.; SCARIOT, A. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma Floresta Estacional Decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, bacia do rio Paranã). **Acta Botânica Brasílica**, v.17, n.2, p. 305-313. 2003.

SILVA, I. P. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais de pesquisa agropecuária**. Recife, UFRPE, 1999. VIII, 305p.

SILVESTRE, R. **Comparação florística, estrutura e padrão espacial em três fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná.** Curitiba, 2009. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVESTRE, R.; WATZLAWICK, L.F.; VALÉRIO, A.F.; KOEHLER, H.S.; SAUERESSIG, D.; VERES, Q.J.I. Composição florística e análise estrutural de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista sob influencia de Bambusoedae em Timbó Grande-SC. 4º Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal. **Anais ...**, 2008, Santa Maria-RS, p.235-240.

VILELA, E.A.; OLIVEIRA F.A.T.; GAVINALES, M.L.; CARVALHO, D.A. Espécies de matas ciliares com potencial para estudos de revegetação no alto Rio Grande, sul de minas. **Revista Árvore**, Viçosa, 1993.

WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; VALERIO, A.F., SILVESTRI, R. Caracterização da composição florística e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, no Município de General Carneiro (PR). Universidade Estadual do Centro-oeste, Guarapuava, **Revista Ambiência**, 2005. p.71-82.

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

WENDLING, J. L. G. **Modelos matemáticos de crescimento e produção em biomassa para árvores de *Euterpe edulis* Mart. Plantadas a céu aberto.** Curitiba, 1998. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

3 USO DE GEOESTATÍSTICA NA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO FLORESTAL EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

RESUMO

A geoestatística vem sendo utilizada cada vez mais em diversas áreas, como nas Ciências Agrárias, para caracterização de solos, sendo a Krigagem uma das técnicas mais utilizadas. Solo e floresta interagem, mediante composição de espécies e deposição de serapilheira em uma determinada área, formando um ecossistema florestal. Este estudo objetivou a caracterização de atributos do solo (químicos e físicos) em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista antropizada, localizado na Reserva Paisagem Araucária Papagaio-do-Peito-Roxo, General Carneiro-PR, Brasil. A área de estudo é de 1.153 ha (92% da área total), contendo 45 unidades amostrais (levantamento florístico/2007), onde foram amostrados os atributos do solo em duas profundidades (0 – 20 cm e 60 – 80 cm), georreferenciadas para elaboração de mapas de isovalores, utilizando a krigagem, no programa GS+. No ajuste dos semivariogramas, foram observados a soma dos quadrados dos resíduos, a dependência espacial e o coeficiente de determinação, sendo o ajuste “a sentimento” (visual). As estimativas foram avaliadas com a técnica da validação cruzada, observando o comportamento das retas de valores reais e estimados, a distribuição dos dados em relação às retas e o erro padrão de estimação. Os atributos que apresentaram melhor desempenho foram Resistência à Penetração (MPa) média, pH (CaCl₂) e K (mmol_c dm⁻³) (0 – 20 cm), M.O. (g dm⁻³) e P resina (mg dm⁻³) (0 – 20 cm e 60 – 80 cm), atendendo todos os quesitos para uma estimação satisfatória, permitindo elaboração de mapas temáticos de isovalores. Os demais atributos avaliados apresentaram problemas na estimação ou efeito pepita puro (comportamento totalmente aleatório), não sendo gerados mapas de isovalores. A matéria orgânica apresentou os melhores resultados, com forte e moderada dependência espacial (88% e 65%), efeito pepita de 13,80 e 12,72, soma dos quadrados dos resíduos de 4,78 e 0,831 e erro padrão estimado 9,890 e 5,110, apresentando, na validação cruzada, retas muito próximas e boa distribuição dos dados, sendo esta um atributo muito influenciado pela floresta através da deposição de serapilheira.

Palavras-chave: solo florestal; krigagem Ordinária; Floresta com Araucária.

ABSTRACT

The geostatistics has been used increasingly in many areas, such as the Agricultural Sciences, for characterization of soils, and the Kriging one of the most used. Soil and forest interact through species composition and deposition of litter in a certain area, forming a forest ecosystem. This study aimed to characterize soil properties (chemical and physical), in a fragment of Mixed Ombrophilous Forest impacted, located in the Reserva Paisagem Araucária Papagaio-do-Peito-Roxo, General Carneiro-PR, Brazil. The study area is 1153,00 ha (92% of the total area) containing 45 sample units (forest survey/2007) was sampled soil attributes, at two depths (0 - 20 cm and 60 - 80 cm), geo-referenced, to mapping isolines, using kriging, the program GS +. In the setting of

the semivariograms were observed sum of squared residuals, the spatial dependence and the coefficient of determination, whether the setting is "the feeling" (visual). The estimates were evaluated using the technique of cross-validation, observing the behavior of the curves of actual and estimated values, the distribution of data for the lines and the standard error of estimation. The attributes that performed best were Penetration Resistance (MPa) medium, pH (CaCl₂) and potassium (mmol_c dm⁻³) (0 - 20 cm), soil organic matter (g dm⁻³) and phosphorus resin (mg dm⁻³) (0 - 20 cm and 60 - 80 cm), because all items for a pet satisfactory, preparation of thematic maps isolines. Other attributes evaluated had problems in the estimation or pure nugget effect (totally random behavior), not being generated maps isolines. The soil organic matter showed the best results, with strong and moderate spatial dependence (88% and 65%), nugget effect of 13,80 and 12,72, sum of squared residuals of 4,78 and 0,831, standard error estimated 9,890 and 5,110, showing in cross-validation, lines very close and good distribution of data, and they attribute much of their influence through the forest litterfall.

Keywords: forest soil; Ordinary kriging; Araucaria Forest.

3.1 INTRODUÇÃO

Muitos estudos vêm sendo realizados em áreas florestais, tanto para caracterizar a flora em si, como também os atributos dos solos, relacionados aos aspectos químicos e físicos. Porém, nem sempre esses estudos levam em consideração a dependência que uma variável amostrada em um ponto apresenta em relação aos pontos vizinhos amostrados, ou ainda, esses trabalhos não mostram visualmente o comportamento da variável ao longo da área de estudo.

No Brasil, unidades florestais de vegetação nativa constituem ricos e complexos sistemas de vida, contendo uma rica biodiversidade, como é o caso da Floresta com Araucária ou Floresta Ombrófila Mista, onde a ocorrência de elementos arbóreos está diretamente ligada ao tipo de solo e suas características. Por outro lado, as florestas proporcionam grandes benefícios ao solo, uma vez que reduzem a compactação e a erosão, mediante a atenuação progressiva do impacto da chuva, em virtude da existência de vários extratos na vegetação e da manta orgânica formada sobre o solo (SILVA et al., 1997).

A Floresta Ombrófila Mista contempla a coexistência de representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira), em marcada relevância fisionômica de elementos Coniferales e Laurales, onde domina *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), espécie gregária de alto valor econômico e

paisagístico conforme IBGE (1992), formando uma unidade fitoecológica marcante e bastante distinta, compreendendo as formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul do Brasil, com disjunções na região Sudeste e em países vizinhos, Paraguai e Argentina (RODERJAN et al., 2002).

Encontra-se, predominantemente entre 800 e 1200 m de altitude, constituindo a formação montana, podendo eventualmente ocorrer acima e abaixo desses limites. Ainda para os autores, no Estado do Paraná, acima de 1200 de altitude, ocupa uma superfície pouco expressiva, nas denominadas formações altomontanas, fisionomicamente similares às montanas, no entanto, pelo rigor climático, possuem menor diversidade florística. Os solos são igualmente similares nas duas fisionomias florestais, onde destacam-se Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos, todos com gênese a partir do derrame basáltico.

A variabilidade espacial de algumas características do solo vem sendo uma das preocupações de pesquisadores praticamente desde o início do século, visto que Camargo (2001) relatou que Smith (1910) estudou a disposição de parcelas no campo em experimentos de rendimento de variedades de milho, numa tentativa de eliminar o efeito de variações do solo, Montgomery (1913), preocupado com o efeito do nitrogênio no rendimento do trigo, realizou um experimento em 224 parcelas, medindo o rendimento de grãos, Waynick e Sharp (1919), que também estudaram variações de nitrogênio e o carbono no solo, entre vários outros autores.

Segundo Camargo (2001), os procedimentos usados na época baseavam-se na estatística clássica e utilizavam grandes quantidades de dados amostrais, visando caracterizar ou descrever a distribuição espacial da característica em estudo. Por estatística clássica, entende-se aquela que se utiliza de parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno e se baseia na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias.

Para Vieira (2000), a distribuição normal não garante, de maneira alguma, a independência entre amostras, a qual pode ser verificada pela autocorrelação. A principal razão para isto é que o cálculo da frequência de distribuição não leva em conta a distância na qual as amostras foram coletadas no campo. Os dados que apresentam dependência espacial requerem o uso de um tipo de estatística chamada geoestatística.

A vantagem do uso da geoestatística é muitas propriedades dos solos variam continuamente no espaço. Dessa forma, pontos amostrados próximos apresentam maior similaridade do que aqueles mais distantes, podendo mostrar uma dependência espacial,

sendo a geoestatística uma ferramenta que aplica métodos para analisar, avaliar ou caracterizar os dados espacialmente relacionados (CRÉPIN e JOHNSON, 1993).

A análise da variabilidade do solo por meio da geoestatística pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas, segundo Trangmar et al. (1985), mas também para aumentar a possibilidade da estimativa de respostas destas sob determinadas práticas culturais (OVALLES e REY, 1994).

Dessa forma, a medida de um atributo em alguns pontos pode revelar grandes variações de valores, pois o solo é o produto da ação de diversos fatores de formação e varia continuamente, principalmente na superfície. Segundo Gonçalves et al. (2001), uma vez quantificada a dependência espacial dos atributos do solo, esta pode ser utilizada para interpolação entre as observações, permitindo o mapeamento do atributo do solo dentro da área, por meio da krigagem. Essa técnica permite a estimativa de valores de forma não tendenciosa e com variância mínima (ROQUE et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi interpolar os atributos do solo, oriundas de análises química, granulométrica e de determinações de profundidade e resistência à penetração, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista localizado em General Carneiro-PR, utilizando o método da krigagem ordinária na interpolação dos dados e obtendo-se mapas temáticos, para os atributos que apresentarem resultados satisfatórios.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

As características da área de estudo, a metodologia de amostragem, as análises laboratoriais para solo, e o roteiro metodológico estão descritos no capítulo 1, dando neste capítulo continuidade à descrição metodológica a partir das análises realizadas no aplicativo GS+.

3.2.1 Organização dos dados e análises

Na planilha eletrônica Excel foi realizada a análise estatística descritiva, obtendo-se média, mediana, moda, valor máximo, valor mínimo, variância, desvio padrão, assimetria, curtose e coeficiente de variação.

As coordenadas obtidas no campo foram descarregadas no aplicativo Track Maker Professional e exportadas para uma planilha eletrônica, juntamente com os resultados obtidos para teor de argila, potencial Hidrogenionico - pH, teores de Matéria Orgânica - M.O., Fósforo - P, Alumínio - Al³⁺, Acidez Potencial - H+Al, Potássio - K, Cálcio - Ca, Magnésio - Mg, Soma de Bases - SB, Capacidade de Troca Catiônica - CTC, Saturação por Bases - V% e Enxofre - S, separados em duas camadas, 0 – 20 cm e 60 – 80 cm. Também foram utilizados os atributos profundidade do solo, sendo verificada até 1,40 metros, e resistência à penetração média (RP), em Megapascal (MPa), para a camada de 0 – 50 cm.

A planilha foi importada para o aplicativo geoestatístico GS+, que associa esses valores às coordenadas das unidades amostrais (ua.), onde foram realizadas as análises geoestatísticas, gerando-se os semivariogramas, a validação cruzada e a interpolação dos dados pelo método da Krigagem ordinária em bloco (para profundidade do solo e resistência à penetração – amostragem composta) e Krigagem pontual para os demais atributos do solo - amostragem simples. Também foram levados para o aplicativo GS+ as coordenadas de polígonos que não foram amostrados, ou seja, áreas onde não se fez interpolação: talhões de pinus, pastagem, área da sede e açúde (polígonos sem coloração nos mapas temáticos de isovalores), bem como o limite da área de estudo.

Informações como limite da área de estudo, pontos das ua. do levantamento fitossociológico, curvas de nível digitalizadas, entre outros, foram fornecidas pela ONG Preservação.

Na análise variográfica, cada atributo do solo foi analisado durante a construção do semivariograma, alterando-se a distância máxima e o número de passos para o cálculo das semivariâncias, onde pode-se excluir até 10% das observações, quando necessário, num total de 45 observações para cada atributo, durante o ajuste dos modelos, que foi feito de forma visual, tendo como foco o comportamentos da região da “subida da reta do semivariograma”, buscando-se obter o maior número possível de pontos mais próximos da reta, obtendo-se um menor valor para SQR – soma do quadrado dos resíduos, ajuste muito semelhante (escolha visual) quando se faz plotagem da distribuição dos resíduos na estatística clássica (ajuste de modelos por regressão).

Na validação cruzada observou-se o erro padrão estimado e utilizando-se 16 amostras vizinhas para a estimativa, configuração padrão do programa. A exatidão da seleção do modelo do semivariograma foi medida através do erro entre os dados medidos e os valores estimados, sendo um dos critérios empregados para selecionar o

semivariograma, o coeficiente de determinação entre estes (MYERS, 1991), juntamente com a posição das retas e a distribuição dos pontos ao longo destas (distribuição equilibrada ou não).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Análise descritiva dos dados

As medidas de posição (média, mediana e moda), as medidas de dispersão (valor mínimo e máximo, desvio padrão e variância) e as medidas de forma (assimetria, curtose e coeficiente de variação) estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Análise estatística descritiva das medidas de posição, dispersão e forma dos atributos do solo da Reserva Paisagem Araucária

Variável	Prof.	Média	Mediana	Moda	Valor máx.	Valor min.	Variância	Desv. Padrão	Assimetria	Curtose	CV %
RP (MPa) média	0 - 50 cm	0,56	0,56	0,56	0,63	0,37	0,0023	0,05	-2,0231	5,4337	8,62
Prof. média (m)	0 - 1.40 m	107,37	112,67	140,00	140,00	38,67	943,34	30,71	-0,8129	-0,4176	28,61
Argila (g kg ⁻¹)	0 - 20 cm	595,95	610,49	561,93	776,33	425,00	11717,06	108,25	-0,1277	-1,2800	18,16
Argila (g kg ⁻¹)	60 - 80 cm	600,82	616,86	476,33	843,00	357,40	19623,22	140,08	0,0066	-1,2574	23,32
pH (CaCl ₂)	0 - 20 cm	4,12	3,96	3,65	5,40	3,37	0,28	0,53	0,7733	-0,2072	12,92
pH (CaCl ₂)	60 - 80 cm	4,22	4,04	4,10	5,20	3,71	0,20	0,44	1,0332	-0,1936	10,52
M.O. (g dm ⁻³)	0 - 20 cm	58,22	59,28	59,99	83,94	35,19	120,60	10,98	-0,0126	-0,3128	18,86
M.O. (g dm ⁻³)	60 - 80 cm	18,47	19,22	11,94	29,26	8,09	32,54	5,70	0,0725	-0,8896	30,89
P res. (mg dm ⁻³)	0 - 20 cm	7,89	6,77	6,68	25,19	3,47	12,25	3,50	2,9335	12,8510	44,36
P res. (mg dm ⁻³)	60 - 80 cm	4,29	3,69	3,47	11,82	3,09	2,63	1,62	2,9062	10,2968	37,79
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0 - 20 cm	40,15	33,40	6,80	125,12	0,40	1122,79	33,51	0,4726	-0,7912	83,45
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	60 - 80 cm	43,17	38,76	1,92	149,04	1,60	1448,88	38,06	1,1309	1,2709	88,17
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	0 - 20 cm	217,44	207,39	362,38	471,52	44,58	13341,62	115,51	0,1893	-1,0582	53,12
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	60 - 80 cm	210,43	223,26	269,85	452,07	39,70	13870,57	117,77	0,1138	-1,0192	55,97
K (mmol _c dm ⁻³)	0 - 20 cm	3,14	2,69	2,69	9,71	1,05	3,43	1,85	1,8574	3,5800	58,90
K (mmol _c dm ⁻³)	60 - 80 cm	1,91	1,34	1,12	9,93	0,60	2,86	1,69	3,2227	11,8320	88,58
Ca (mmol _c dm ⁻³)	0 - 20 cm	41,09	27,04	3,86	146,78	2,58	1536,18	39,19	1,1121	0,2690	95,40
Ca (mmol _c dm ⁻³)	60 - 80 cm	39,51	9,01	5,15	159,65	2,58	2496,19	49,96	1,1604	-0,1233	126,45
Mg (mmol _c dm ⁻³)	0 - 20 cm	13,20	7,31	1,46	52,65	1,10	174,95	13,23	1,3149	1,1407	100,17
Mg (mmol _c dm ⁻³)	60 - 80 cm	18,74	3,66	0,73	86,66	0,73	669,32	25,87	1,2891	0,2854	138,07
SB (mmol _c dm ⁻³)	0 - 20 cm	57,43	39,11	Amodal	201,82	6,00	2783,99	52,76	1,0993	0,2214	91,87
SB (mmol _c dm ⁻³)	60 - 80 cm	60,16	17,10	4,73	244,44	4,43	5744,33	75,79	1,1838	-0,0709	125,99
CTC (mmol _c dm ⁻³)	0 - 20 cm	274,87	267,49	Amodal	478,47	153,48	5788,12	76,08	0,6299	-0,2597	27,68
CTC (mmol _c dm ⁻³)	60 - 80 cm	270,59	265,15	Amodal	460,22	133,77	5554,18	74,53	0,5352	-0,0390	27,54
V% (mmol _c dm ⁻³)	0 - 20 cm	25,47	15,98	Amodal	79,10	1,45	624,68	24,99	0,9079	-0,5229	98,11
V% (mmol _c dm ⁻³)	60 - 80 cm	25,22	5,63	Amodal	85,42	1,08	949,52	30,81	0,9546	-0,8495	122,20
S (mg dm ⁻³)	0 - 20 cm	15,00	13,21	12,16	27,23	7,57	24,59	4,96	0,7791	-0,2651	33,07
S (mg dm ⁻³)	60 - 80 cm	9,20	7,41	7,24	33,19	4,67	31,15	5,58	2,7872	8,7607	60,69

Os valores de média e mediana foram próximos entre si, mostrando que o ponto central dos valores analisados é similar a média aritmética das variáveis, havendo discrepâncias mais acentuada para as variáveis: pH (CaCl_2), Mg e Cu na cama de 60 – 80 cm; teor de Argila, H+Al, Ca, SB, V%, Fe e Mn, nas camadas de 0 – 20 cm e 60 – 80 cm, não apresentando discrepância acentuada somente na profundidade de 0 – 20 cm.

Nessa camada, sob influência mais direta da floresta (deposição de serapilheira por exemplo), possivelmente ocorra um condicionamento dos outros atributos do solo pela matéria orgânica oriunda da serapilheira decomposta. A maior variabilidade de alguns atributos na camada mais profunda pode ser influência do material de origem e/ou dos processos de formação do solo (pedogênese). A moda não é coincidente com a média e mediana (exceto para RP (MPa) média), indicando assim, uma tendência de assimetria da curva de distribuição de frequência. Ainda, segundo Little e Hills (1978), um conjunto de dados tem distribuição normal quando os valores de sua média aritmética, mediana e moda apresentam valores semelhantes e, de acordo com Snedecor e Cochran (1974), nessa situação uma distribuição normal apresenta coeficientes de assimetria próximo a zero e coeficiente de curtose próximo a três, embora alguns programas estatísticos utilizem uma maneira de cálculo do coeficiente de curtose que resulta em zero.

Os intervalos de valores adquiridos para as variáveis em estudo são mostrados pelos valores máximos e mínimos. O desvio padrão e a variância mostram a soma dos desvios em relação à média dos dados da amostragem e, como tal, apresentam sensibilidade para valores muito altos ou muito baixos, gerados por erros na amostragem ou por outras fontes. Ambos, mostram que os dados apresentam grande amplitude de variação (mais de uma unidade acima ou abaixo da média para a maioria das variáveis estudadas).

Alguns atributos do solo apresentaram baixo coeficiente de variação (CV%), < 10%, e muitos apresentaram alto CV% (>30%), de acordo com os parâmetros propostos por Gomes (1976). O mais alto CV% foi encontrado para Fe na profundidade de 60 – 80 cm, 182,13 %, e o mais baixo foi para RP média, 8,62 %. Segundo Zimback (2001), a heterogeneidade do material formador do solo pode induzir a uma grande variação nas características e propriedades dos solos, como observado por Oliveira et al. (1999).

A assimetria descreve a forma da distribuição de frequência de uma amostra. Ribeiro Jr. (1995) considera que curvas com assimetria < 0,15 são simétricas, de

moderada assimetria de 0,15 a 1,00 e indicativos de assimetria quando $> 1,00$. Muitos atributos apresentaram curva forte e moderada assimetria e poucos apresentaram curva simétrica. O grau de achatamento da forma de distribuição de frequência de uma amostra é chamado de curtose, sendo que os valores tendem para 3 numa distribuição normal (LANDIM, 1998). Muitos dados apresentaram valores pequenos e negativos demonstrando que não estão bem enquadrados nas classes centrais do histograma de distribuição dos atributos estudados.

3.3.2 Análise espacial

A análise espacial foi realizada no programa GS+ (GS+, 2000), no módulo “Análise de Semivariância” proposta por (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989), não havendo anisotropia (mudança dos parâmetros do semivariograma com a mudança do vetor h).

Nos ajustes dos semivariogramas teóricos aos experimentais, foi selecionada como índice de avaliação do erro de ajuste, a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) como a melhor medida de avaliação (ZIMMERMAN e ZIMMERMAN, 1991). Também foi utilizado o ajuste através do método das discrepâncias (GUERRA, 1988), como ajuste “a sentimento”, alterando-se as distâncias máximas e o número de passos para o cálculo das semivariâncias, buscado uma tendência de elevação da curva, isto é, onde ocorre a influência do espaço na variabilidade de cada atributo (RIBEIRO JR., 1995).

Os parâmetros obtidos pela análise variográfica para cada atributo encontram-se no Quadro 2, e no Quadro 3 estão os parâmetros resultantes da validação cruzada.

Quadro 2. Parâmetros variográficos dos atributos do solo da Reserva Paisagem Araucária

Parâmetros variográficos dos atributos do solo no fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária, General Carneiro-PR								
Variável	Modelo	Efeito Pepita Co	Patamar (Co+C)	Alcance (m)	r ²	SQR	C/(C+Co)	Dependência Espacial
Resistência à Penetração	Esférico	0,000001	0,000686	855,00	0,529	2,397E-07	0,99	Forte
Profundidade do solo	Linear*	956,970000	956,970000	3066,84	0,029	210399	0,00	Nula
Teor de Argila (0 – 20 cm)	Linear*	12814,170000	12814,170000	3380,02	0,053	3,50E+08	0,00	Nula
Teor de Argila (0 – 20 cm)	Linear*	20953,753710	20953,753710	3150,73	0,119	1,05E+09	0,00	Nula
pH (CaCl ₂) (0 – 20 cm)	Exponencial	0,014200	0,292400	1323,00	0,886	2,655E-03	0,95	Forte
pH (CaCl ₂) (60 – 80 cm)	Gaussiano	0,000100	0,101200	491,90	0,594	3,386E-03	0,99	Forte
M.O. (g dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Exponencial	13,800000	111,700000	825,00	0,994	4,780	0,88	Forte
M.O. (g dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Exponencial	12,720000	36,510000	1704,00	0,990	0,831	0,65	Moderada
P (mg dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Gaussiano	0,010000	5,141000	685,89	0,880	1,610	0,99	Forte
P (mg dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Esférico	0,330000	1,316000	2021,00	0,655	0,381	0,75	Forte
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Esférico	494,000000	989,000000	929,00	0,564	88077	0,50	Moderada
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Gaussiano	1,000000	881,000000	575,04	0,528	497099	0,99	Forte
H+Al (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Esférico	3450,000000	12660,000000	832,00	0,709	1,38E+07	0,73	Moderada
H+Al (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Gaussiano	10,000000	12290,000000	481,51	0,608	5,06E+07	0,99	Forte
K (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Esférico	0,581000	2,818000	2970,00	0,944	0,380	0,79	Forte
K (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Exponencial	0,775000	3,407000	1881,00	0,626	0,284	0,77	Forte
Ca (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Exponencial	451,000000	1751,000000	1839,00	0,990	622,00	0,74	Moderada
Ca (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Linear*	1656,126862	1656,126862	3404,08	0,021	2823143	0,00	Nula
Mg (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Exponencial	27,400000	189,400000	1497,00	0,891	135,00	0,85	Forte
Mg (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Linear*	648,152567	648,152567	3411,23	0,020	504996	0,00	Nula
SB (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Exponencial	143,000000	2664,000000	660,00	0,057	9827454	0,95	Forte
SB (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Linear*	4729,760031	4729,760031	3404,08	0,015	1,67E+07	0,00	Nula
CTC (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Exponencial	610,000000	4973,000000	414,00	0,091	4350874	0,88	Forte
CTC (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Linear*	4138,441859	4138,441859	3373,94	0,192	6069538	0,00	Nula
V% (0 – 20 cm)	Exponencial	42,000000	593,000000	750,00	0,096	300036	0,93	Forte
V% (60 – 80 cm)	Linear*	971,397827	971,397827	3158,79	0,076	511475	0,00	Nula
S (mg dm ⁻³) (0 – 20 cm)	Gaussiano	0,010000	21,490000	594,00	0,602	228,00	0,99	Forte
S (mg dm ⁻³) (60 – 80 cm)	Gaussiano	0,710000	7,608000	874,68	0,99	1,631E-04	0,91	Forte

* Efeito Pepita Puro

Quadro 3. Validação Cruzada da krigagem para os atributos do solo da Reserva Paisagem Araucária

Validação cruzada da krigagem dos atributos do solo no fragmento florestal da Reserva Paisagem Araucária, General Carneiro-PR				
Variável	Erro Padrão	Erro Padrão Estimado	R²	Equações
Resistência à Penetração	0,272	0,021	0,405	Valor Real= 0,23 + 1,402 . Valor Estimado
pH (CaCl ₂) (0 – 20 cm)	0,402	0,501	0,019	Valor Real= 2,61 + 0,362 . Valor Estimado
pH (CaCl ₂) (0 – 20 cm)	0,267	0,914	0,176	Valor Real= 0,91 + 0,770 . Valor Estimado
M.O. (g dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,397	9,890	0,092	Valor Real= 10,67 + 0,818 . Valor Estimado
M.O. (g dm ⁻³) (60 – 80 cm)	0,425	5,110	0,123	Valor real= – 0,58 + 1,019 . Valor Estimado
P (mg dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,283	2,237	0,086	Valor Real= 3,33 + 0,557 . Valor Estimado
P (mg dm ⁻³) (60 – 80 cm)	0,267	0,914	0,176	Valor Real= 0,91 - 0,770 . Valor Estimado
H+Al (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,472	109,91	0,028	Valor Real= 104,07 + 0,516 . Valor Estimado
H+Al (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	0,481	108,66	0,029	Valor Real= 306,19 - 0,519 . Valor Estimado
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,523	30,586	0,016	Valor Real= 22,87 + 0,420 . Valor Estimado
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³) (60 – 80 cm)	0,389	30,221	0,002	Valor real= 36,54 + 0,114 . Valor estimado
K (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,285	1,301	0,129	Valor Real= 0,92 + 0,684 . Valor Estimado
K (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,378	1,690	0,000	Valor Real= 1,80 + 0,055 . Valor Estimado
Ca (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm) 2	0,361	37,568	0,081	Valor Real= 11,68 + 0,703 . Valor Estimado
Mg (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,430	12,889	0,050	Valor Real= 4,43 + 0,650 . Valor Estimado
SB (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,470	54,498	0,034	Valor Real= 22,80 + 0,564 . Valor Estimado
CTC (mmol _c dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,756	66,591	0,102	Valor Real= 712,30 - 1,649 . Valor Estimado
V% (0 – 20 cm)	0,435	24,500	0,039	Valor Real= 10,33 + 0,575 . Valor Estimado
S (mg dm ⁻³) (0 – 20 cm)	0,373	4,595	0,038	Valor Real= 7,94 + 0,475 . Valor Estimado
S (mg dm ⁻³) (60 – 80 cm)	0,241	2,248	0,064	Valor Real= 4,71 + 0,389 . Valor Estimado

O atributo Resistência à Penetração apresentou forte dependência espacial pelo semivariograma (Figura 1) e validação cruzada (Figura 2), utilizando o modelo Esférico, sendo possível a elaboração do mapa de isovalores (Figura 3), obtendo-se um alcance de estimativa a partir de cada amostra de 855 metros (Quadro 2). É possível verificar que o solo não apresentou grande resistência à penetração, pois os valores observados foram menores que 1 MPa, classificada por USDA (1993) como resistência intermediária baixa (0,1 – 1 MPa), estando abaixo da faixa de 1,5 a 3,0 MPa, considerada restritiva ao crescimento radicular, mostrando não haver problemas de compactação no solo. Porém, foi observado no campo, em vários pontos amostrados, a existência de fragmentos de rocha de vários tamanhos na camada superficial do solo ou ainda pontos onde o solo é mais raso, podendo justificar os resultados obtidos, uma vez que o solo possuía uma umidade média de 35,73 % no momento da coleta da informação e profundidade média de 107,37 cm (dado limitado pelo comprimento da haste utilizada na mensuração da profundidade, que foi insuficiente para alcançar a rocha de origem em vários pontos amostrados).

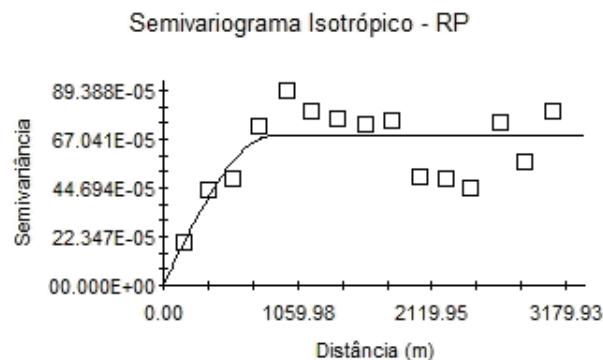


Figura 1. Semivariograma para Resistência à Penetração do solo (MPa)

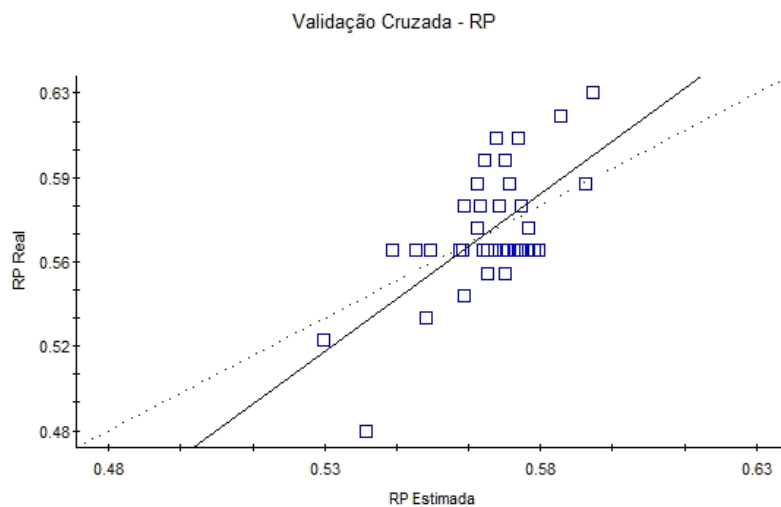


Figura 2. Validação Cruzada para Resistência à Penetração do solo (MPa)

Os resultados obtidos são melhores do que os obtidos por Albuquerque (2009), que avaliou a RP com a mesma metodologia e equipamentos utilizados nesta pesquisa em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista sob manejo de faxinais. O autor obteve valores de RP que de 0,1 – 2 MPa, considerados com resistência intermediária baixa e moderada, respectivamente, onde os valores próximos de 2 indicam problemas iniciais de restrição ao crescimento radicular e de adensamento do solo. O autor ainda concluiu que este método é eficiente para caracterizar a qualidade física dos solos e podem contribuir para o seu uso sustentável.

Para a profundidade do solo e teor de argila (0 – 20 cm e 60 – 80 cm), o semivariograma (Figura 4), na camada superficial, mostrou que os dados apresentam efeito pepita puro, onde a menor distância entre as amostras é maior que a distância que a influência destas alcançam, sendo os dados totalmente aleatórios, não sendo possível utilizar a Krigagem para gerar mapas, pois não há dependência espacial.

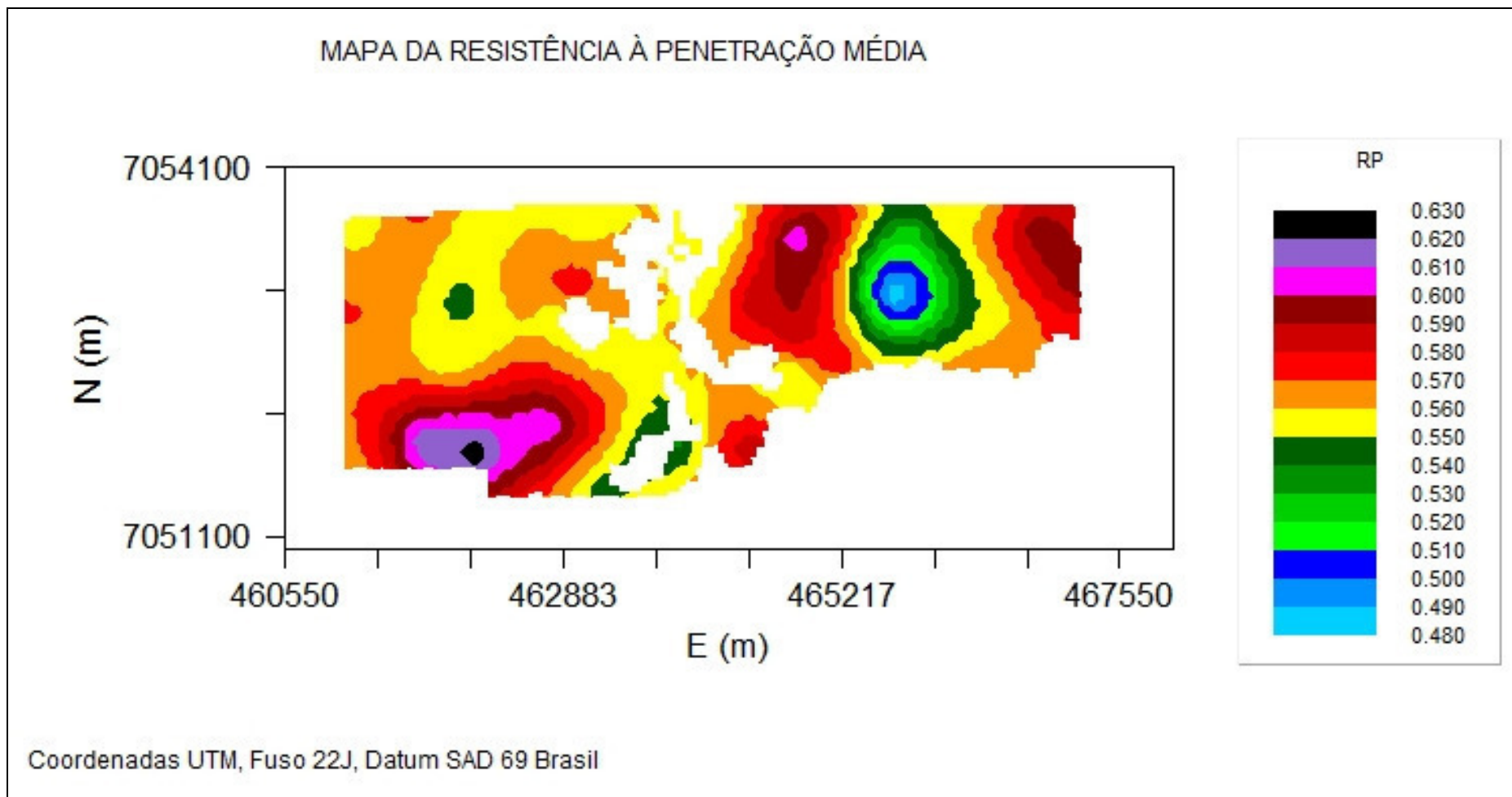


Figura 3. Mapa de isovalores para Resistência à Penetração do solo (MPa)

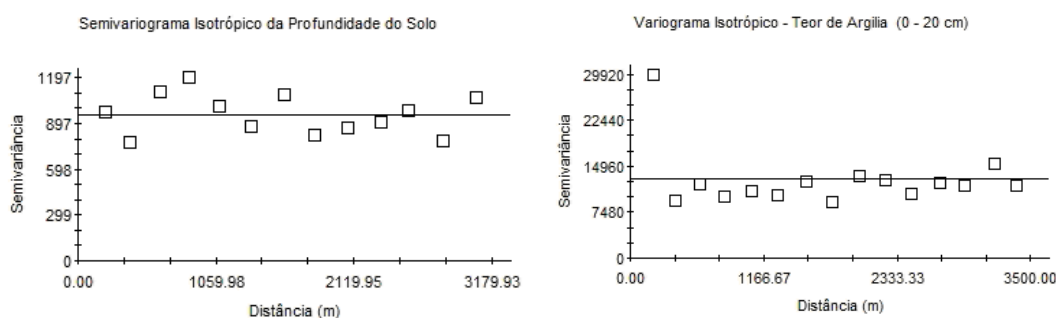


Figura 4. Semivariograma da profundidade do solo e do teor de argila (Efeito pepita puro)

Isso deve ocorrer, pelo fato da profundidade do perfil do solo ser bastante irregular e, também, pela restrição do comprimento da haste de metal (1,40 m), utilizada na avaliação da profundidade do solo não captar a real variabilidade desse atributo. Para o teor de argila, possivelmente, o material de origem (rocha basáltica) padronize o teor de argila no solo, e mesmo havendo encostas e áreas declivosas a floresta atenua os processos erosivos, ajudando a manter as características do solo.

O pH (CaCl_2) na profundidade de 0 – 20 cm apresentou-se ácido, de muito baixo a médio segundo Rajj et al. (2001), tendo forte dependência espacial conforme o semivariograma (Figura 5) e validação cruzada (Figura 6), utilizando modelo Exponencial, contendo uma região com pH de 4,3 a 5,1 na porção central da área de estudo (Figura 7).

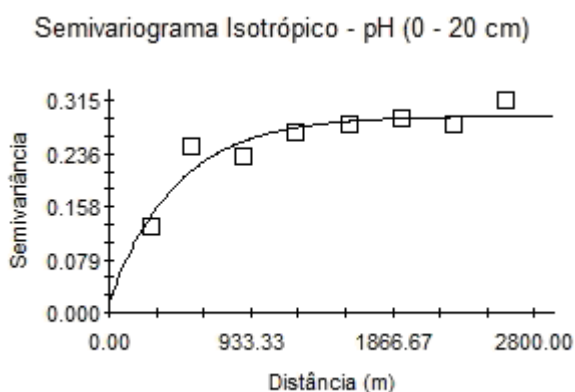


Figura 5. Semivariograma para pH (CaCl_2) (0 – 20 cm)

O alcance foi de 1323,00 m e o efeito pepita de 0,01420, resultados mais expressivos (alcance muito maior e menor efeito pepita) do que os obtidos por Wojciechowski et al. (2009), ajustando semivariograma para pH do solo em áreas de Floresta Estacional Decidual, utilizando modelos Gaussiano e Esférico, em Santa Tereza-RS, obtendo alcance de 258, 269 e 234 metros para floresta madura, floresta secundária e capoeirão, respectivamente, utilizando grade amostral com espaçamento entre 30 e 40 metros, amostragem bem mais adensada do que a do presente trabalho, porém com um número total de observações inferior ao utilizado no presente estudo, o que reduz o número de pares para o cálculo das semivariâncias, sendo teóricamente, menor a precisão das estimativas das semivariâncias.

Regiões com altas precipitações pluviiais apresentam tendência à maior acidificação do solo, pela remoção de cátions de caráter básico do complexo de troca, como Ca, Mg, K e Na, e o conseqüente acúmulo de cátions de natureza ácida, como Al e H. Há também nos solos, ácidos fracos constituintes da matéria orgânica do solo que geram prótons, mas com baixa ionização (SOUSA et al., 2007), contribuindo para a acidificação, processo que possivelmente esteja ocorrendo na área de estudo.

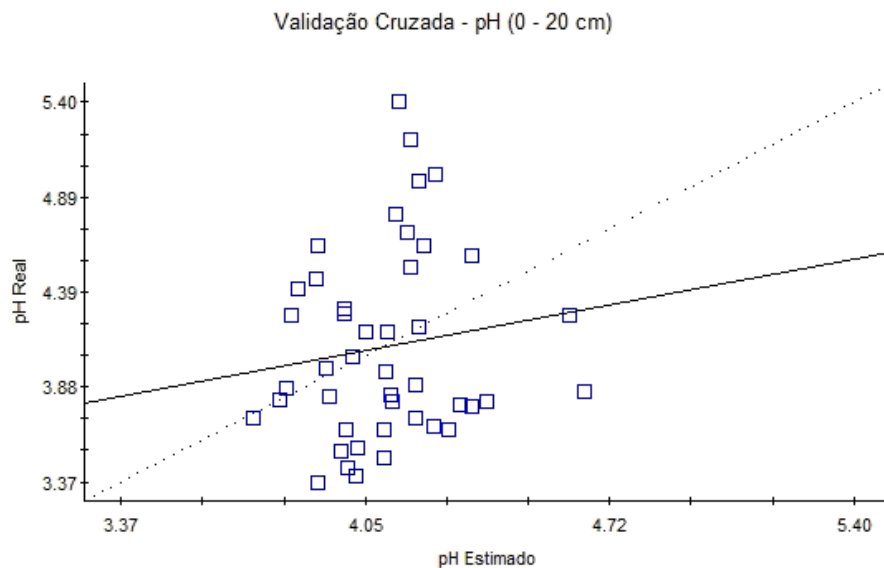


Figura 6. Semivariograma para pH (CaCl₂) (0 – 20 cm)

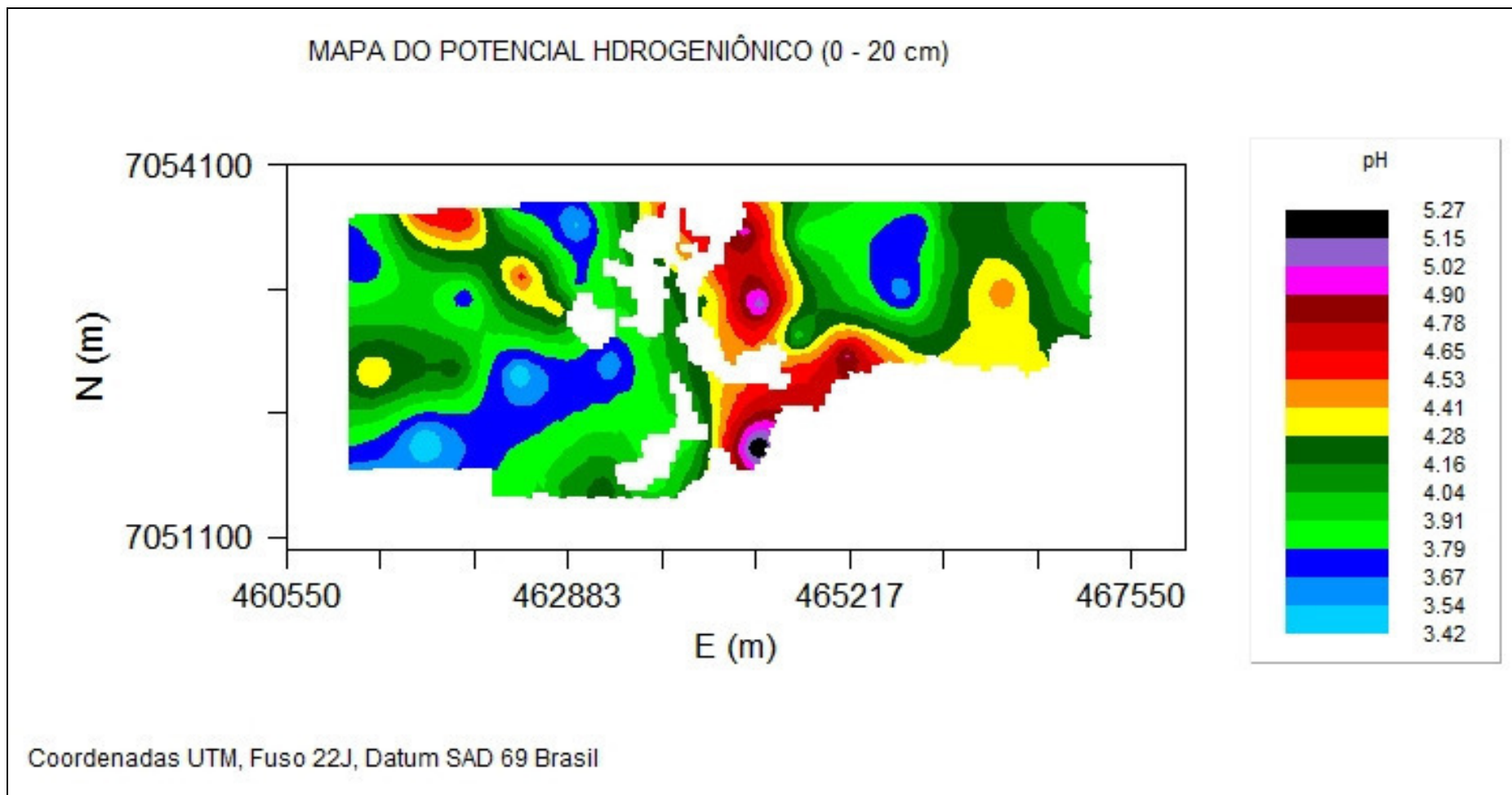


Figura 7. Mapa de isovalores para pH (CaCl_2) (0 – 20 cm)

Na profundidade de 60 – 80 cm, o pH apresentou bom ajuste no semivariograma (Quadro 2), porém na validação cruzada a reta dos dados estimados não foi coincidente com a dos valores reais, onde as extremidades ficaram em posições opostas, resultando em subestimação ou superestimação de valores, não gerando-se mapa de isovalores.

O pH é muito importante, pois influencia a disponibilidade de todos os nutrientes, como por exemplo o fósforo, onde a sua disponibilidade aumenta e depois diminui, devido à redução da acidez e aumento de OH^- na solução do solo (SOUSA et al., 2007).

A matéria orgânica do solo obteve bons resultados nas análises variográficas (Quadro 2 e Figura 8) e ótimos resultados nas validações cruzadas (Quadro 3), com retas próximas, mostrando boa relação entre os dados observados e estimados (Figura 9).

Semivariograma Isotrópico - M.O. (0 - 20 cm)

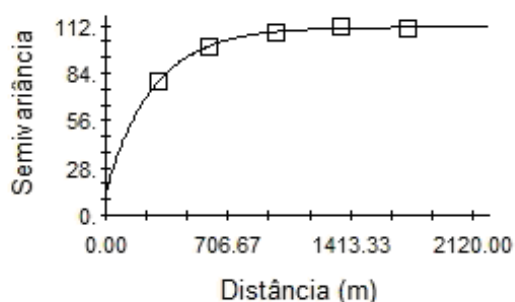


Figura 8. Semivariograma para teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) (0 – 20 cm)

Validação Cruzada - M.O. (0 - 20 cm)

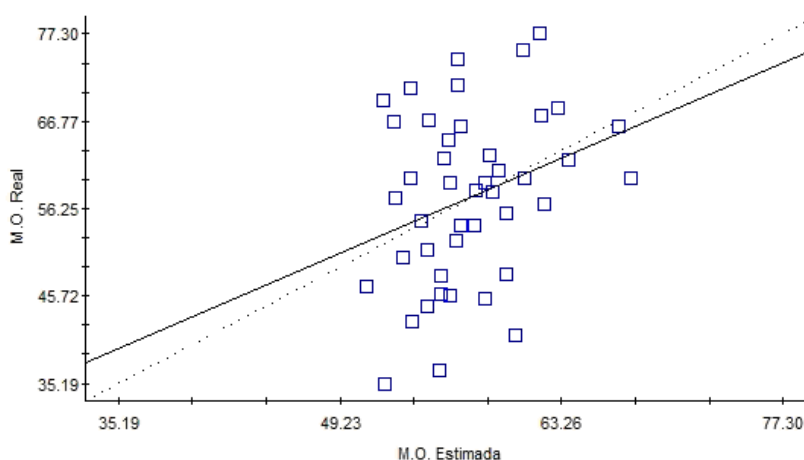


Figura 9. Validação Cruzada para teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) (0 – 20 cm)

O mapa para o teor de matéria orgânica (Figura 10) mostra que os menores teores estão nas regiões mais altas, e os maiores teores estão nas regiões mais baixas do terreno, mostrando que existe acúmulo de matéria-orgânica nas baixadas. Em altitude, a erosão propicia um menor teor de matéria orgânica no solo.

Em profundidade, a M.O. apresentou menor teor médio (aproximadamente 1/3 do teor encontrado na camada superficial) e maior variação do que em superfície (Quadro 1), possivelmente pelo fato de estar distante da camada de serapilheira, fonte de matéria orgânica no solo florestal, apresentando moderada dependência espacial na análise variográfica.

As figuras 11, 12 e 13 apresentam o semivariograma, a validação cruzada e o mapa de isovalores, respectivamente. Na validação cruzada é possível observar que dados reais e observados apresentem uma diferença muito pequena, havendo ótima estimativa, situação também observada por Zimback (2001), para matéria orgânica na profundidade de 60 – 80 cm em análise de atributos químico de solo para fins de mapeamento de fertilidade do solo, e uma área agrícola no município de Mogi-Guaçu, composta por vários tipos de solos, tendo forte dependência espacial.

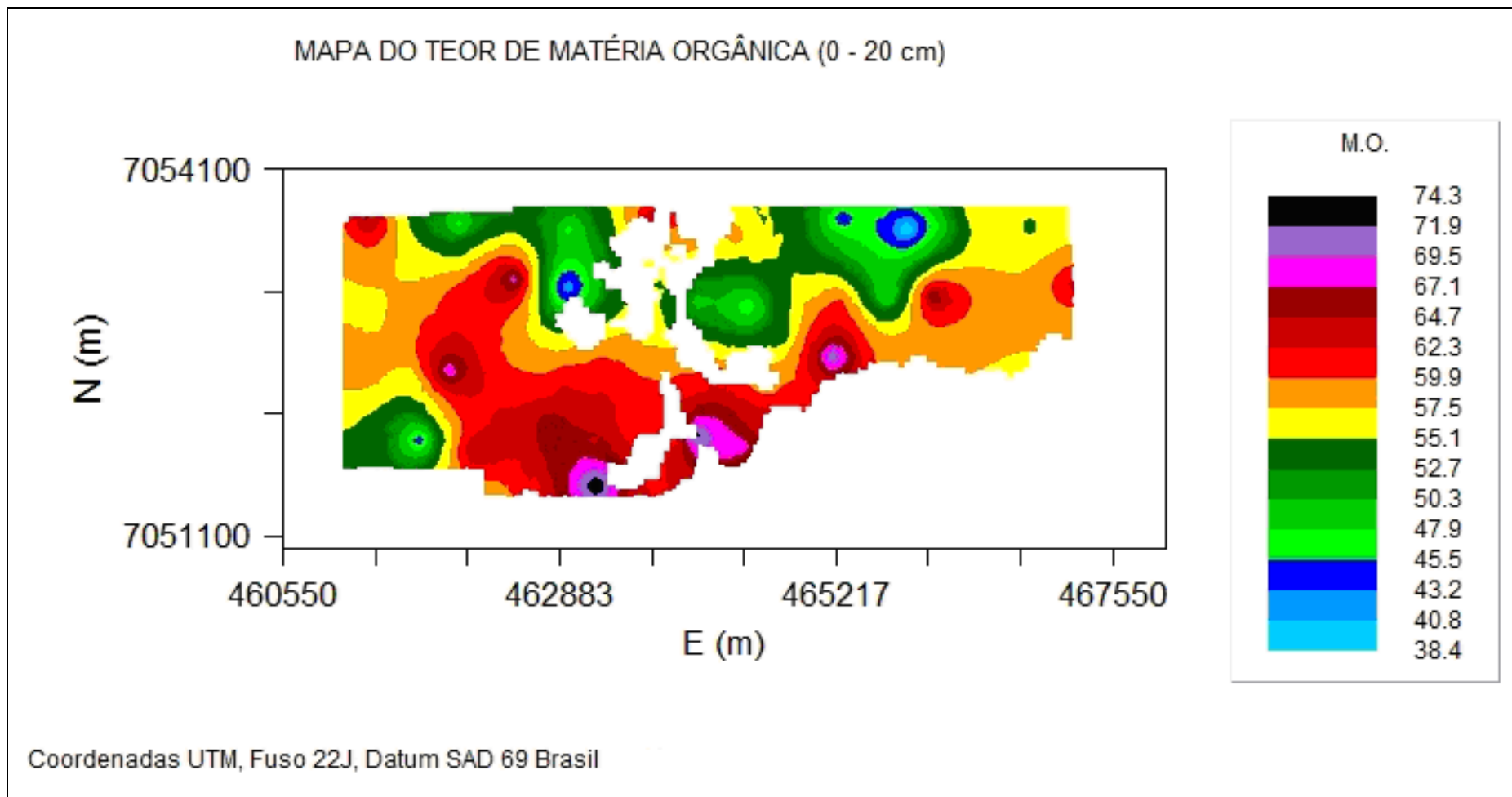


Figura 10. Mapa de isovalores para o teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) (0 – 20 cm)

Semivariograma Isotrópico - M.O. (60 - 80 cm)

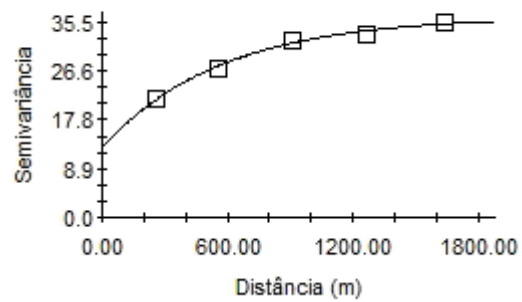


Figura 11. Semivariograma para teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) (60 – 80 cm)

Validação Cruzada - M.O. (60 - 80 cm)

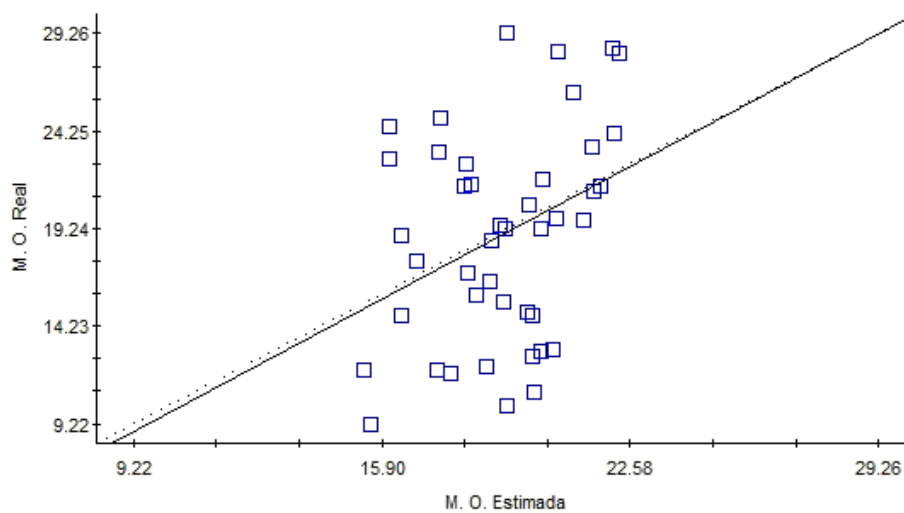


Figura 12. Validação Cruzada para teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) (60 – 80 cm)

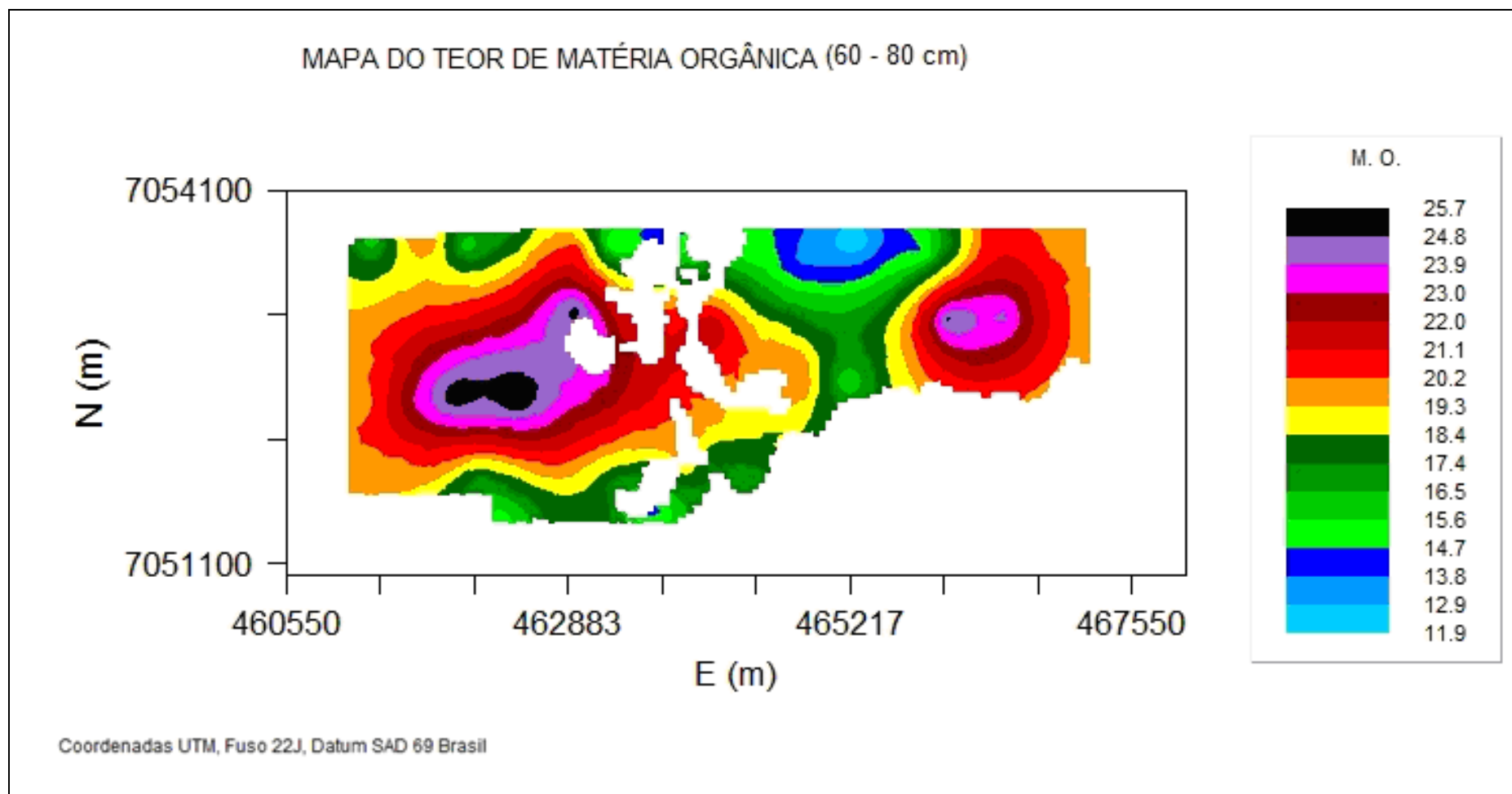


Figura 13. Mapa de isovalores para o teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) (60 – 80 cm)

O modelo ajustado no semivariograma para o M.O. foi o Exponencial, obtendo efeito pepita de 13,80 e 12,72 e alcance de 825,00 e 1704,00 metros para as duas camadas de 0 – 20 e 60 – 80 cm, respectivamente, resultados que divergem dos obtidos por Wojciechowski et al. (2009), que observaram efeito pepita puro para M.O. no solo em áreas de Floresta Estacional Decidual, em diferentes estágios de sucessão (floresta madura, secundária e capoeirão), na região de Santa Tereza-RS.

O acúmulo de matéria orgânica depende de um balanço que envolve os processos de adição (produção de biomassa vegetal por exemplo) e perda, que pode ser devido à decomposição ou erosão do solo, Müller (2008), situações que ocorrem mais na superfície do solo do que em profundidade, explicando a diferença entre os resultados observados nas diferentes profundidades.

O conhecimento da disponibilidade e variabilidade de matéria orgânica no solo é muito importante pois ela pode ajudar em vários processos no solo e na sua interação com a floresta, como no aquecimento, no suprimento de nutrientes para as plantas, na troca de gases, na estabilização da estrutura, no aumento da permeabilidade e na reserva de água, entre outros benefícios (EMBRAPA, 1997).

Segundo Barreto et al. (1974); Chitolina (1982); Saraiva (1989), o pH e a matéria orgânica são características que apresentam pouca variabilidade em solos, de uma maneira geral, porém observou-se altos coeficientes de variação, de 12,92%, 10,52%, 18,86% e 30,89% para as profundidades de 0 – 20 cm e 60 – 80 cm, respectivamente, mostrando que existe maior variabilidade para pH e M.O. no solo.

O teor de fósforo no solo na camada de 0 – 20 cm apresentou-se de baixo a alto segundo Raij et al. (2001), para espécies florestais, com um coeficiente de variação de 44,36%, tendo forte dependência espacial (99%) apresentada pelo semivariograma (Figura 14) e validação cruzada (Figura 15), utilizando o modelo Gaussiano, com efeito pepita de 0,010 e alcance de 685,89 metros, onde os maiores teores encontram-se na região central da área de estudo, próximos a rede de drenagem (Figura 16), possivelmente devido a deposição de sedimentos, contendo P, oriundos das encostas e áreas de maior altitude, contendo também M.O., fonte de P.

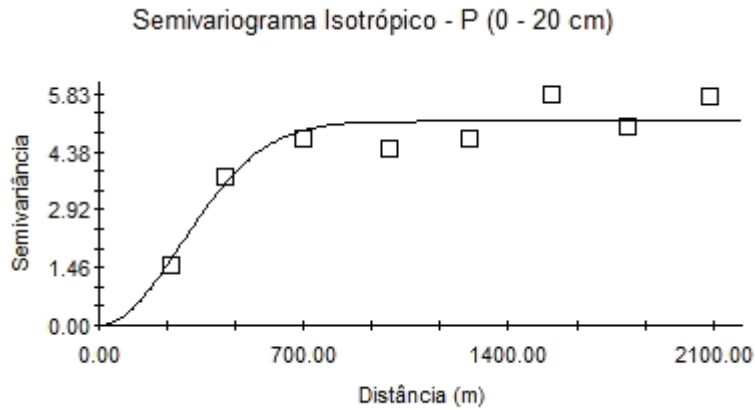


Figura 14. Semivariograma para teor de fósforo (mg dm^{-3}) (0 – 20 cm)

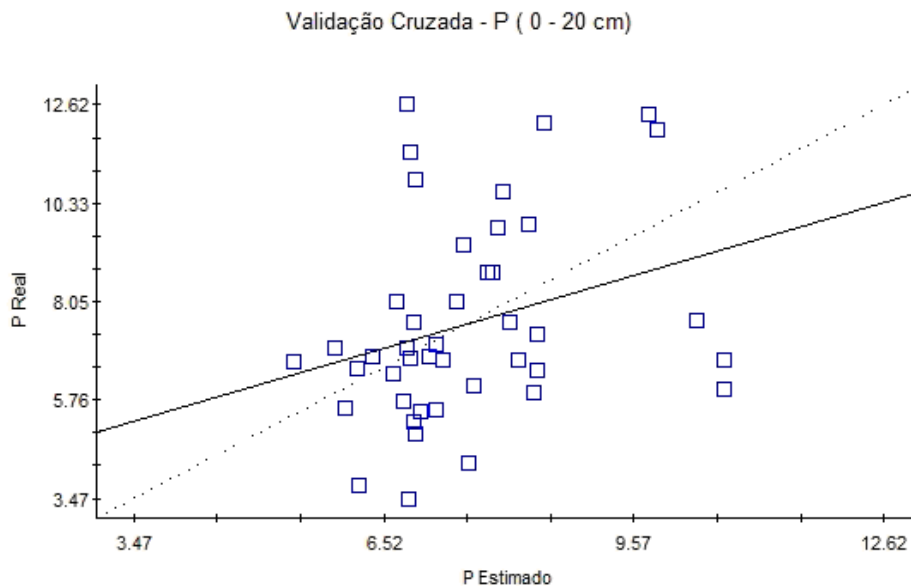


Figura 15. Validação Cruzada para teor de fósforo (mg dm^{-3}) (0 – 20 cm)

A distribuição espacial apresentada pelo fósforo na área de estudo é compreensível, pois sendo um elemento de baixa mobilidade no solo em função da forte adsorção que sofre, o seu deslocamento se dá pela movimentação de sedimentos das áreas de maior altitude e encostas em direção às áreas mais baixas e depressões como as calhas da rede de drenagem, explicando seu maior teor nestes locais. O pH do solo também ajuda a explicar a disponibilidade e a distribuição de fósforo na área de estudo, uma vez que há uma certa sobreposição de áreas com maior teor de fósforo ($7,8$ a $12,7 \text{ mg dm}^{-3}$) e maior pH observado ($4,28$ a $5,27$), onde, segundo Sousa et al. (2007), nesta faixa de pH ocorre aumento da disponibilidade de fósforo.

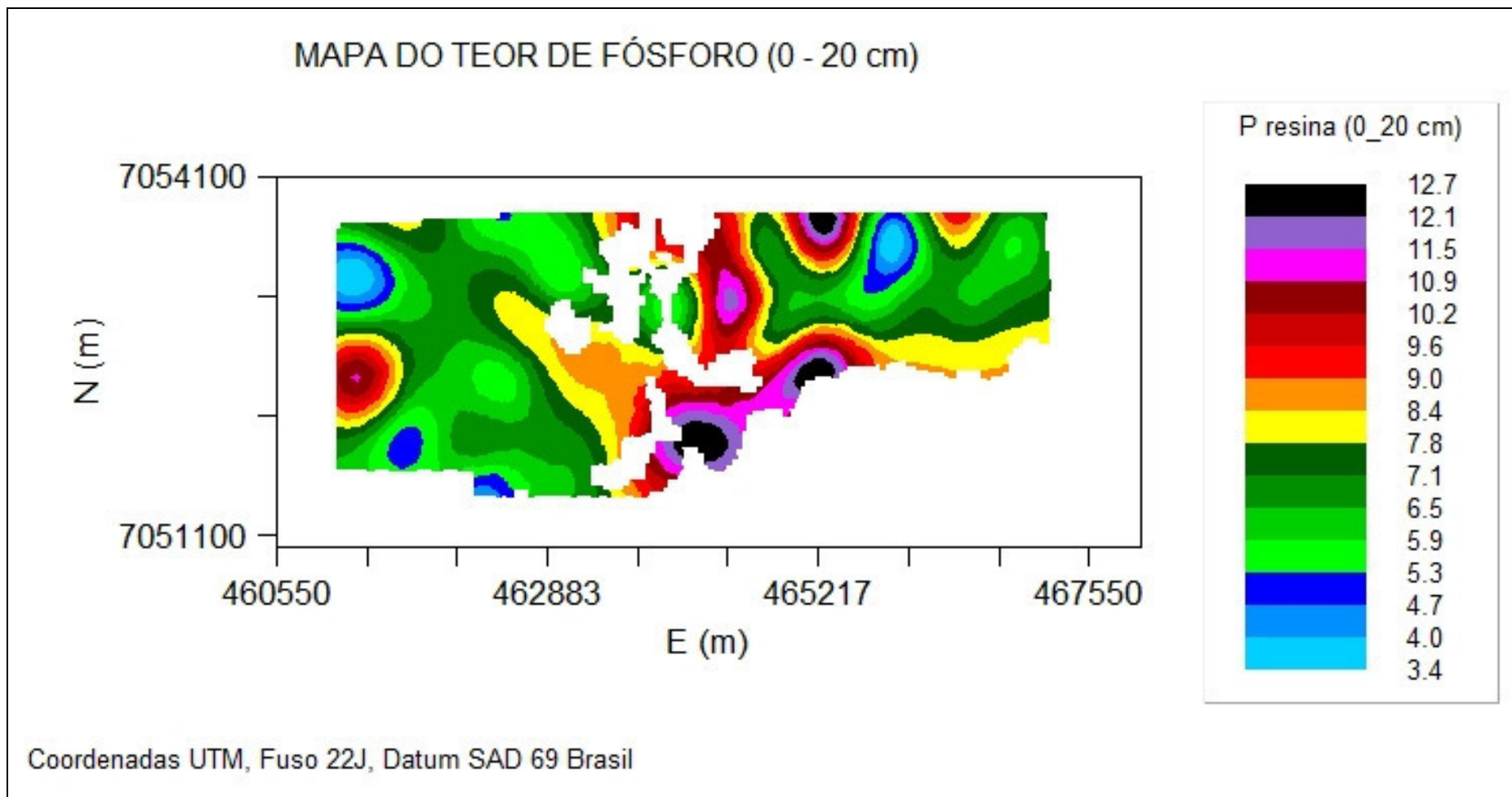


Figura 16. Mapa de isovalores para para teor de fósforo (mg dm^{-3}) (0 – 20 cm)

É muito importante este tipo de informação, pois a baixa disponibilidade de fósforo no solo é uma das causas que mais limita o crescimento e a produção florestal (FRANCO, 1984), tornando-se necessário o seu fornecimento às árvores via fertilização, uma vez que uma região bastante considerável apresentou teor de 3 a 6 (mg dm^{-3}) de fósforo, considerado baixo teor Rajj et al. (2001), necessitando de adição. Por outro lado, existe também a questão econômica, pois o fósforo é um dos elementos mais caros, com jazidas cada vez mais raras e com rochas de baixo teor inviabilizando a sua extração, o que pode vir a comprometer a sua disponibilidade mundial, apresentando ainda no solo baixa eficiência na sua disponibilidade às plantas após a sua aplicação, pois também foi observada uma região considerável com alto teor de fósforo (10 – 20 mg dm^{-3}) não necessitando adição via fertilização.

Em profundidade, o P apresentou baixo teor, com valores bem abaixo dos observados em superfície (aproximadamente 50% a menos), com menor variação (Quadro 1). A dependência espacial foi forte (75%), utilizando-se o modelo esférico, verificada no semivariograma (Figura 17) e na validação cruzada (Figura 18) obtendo efeito pepita de 0,330 e alcance de 2021 metros. O mapa de isovalores (figura 19) mostra uma grande região com teor inferior a 4 mg dm^{-3} , inclusive próximo a rede de drenagem, onde em superfície apresentou alto teor.

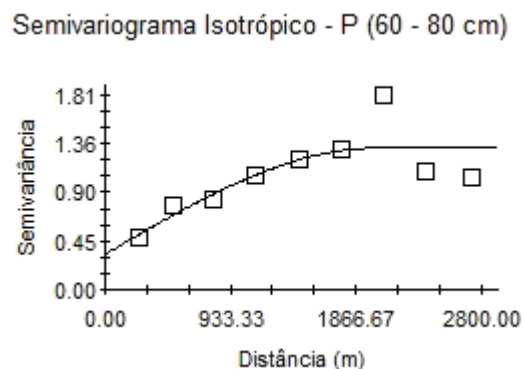


Figura 17. Semivariograma para teor de fósforo (mg dm^{-3}) (60 – 80 cm)

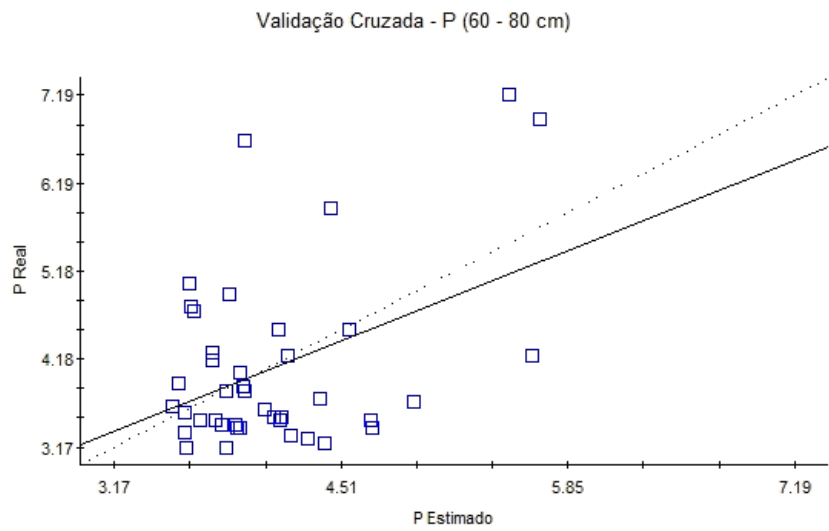


Figura 18. Validação Cruzada para teor de fósforo (mg dm^{-3}) (60 – 80 cm)

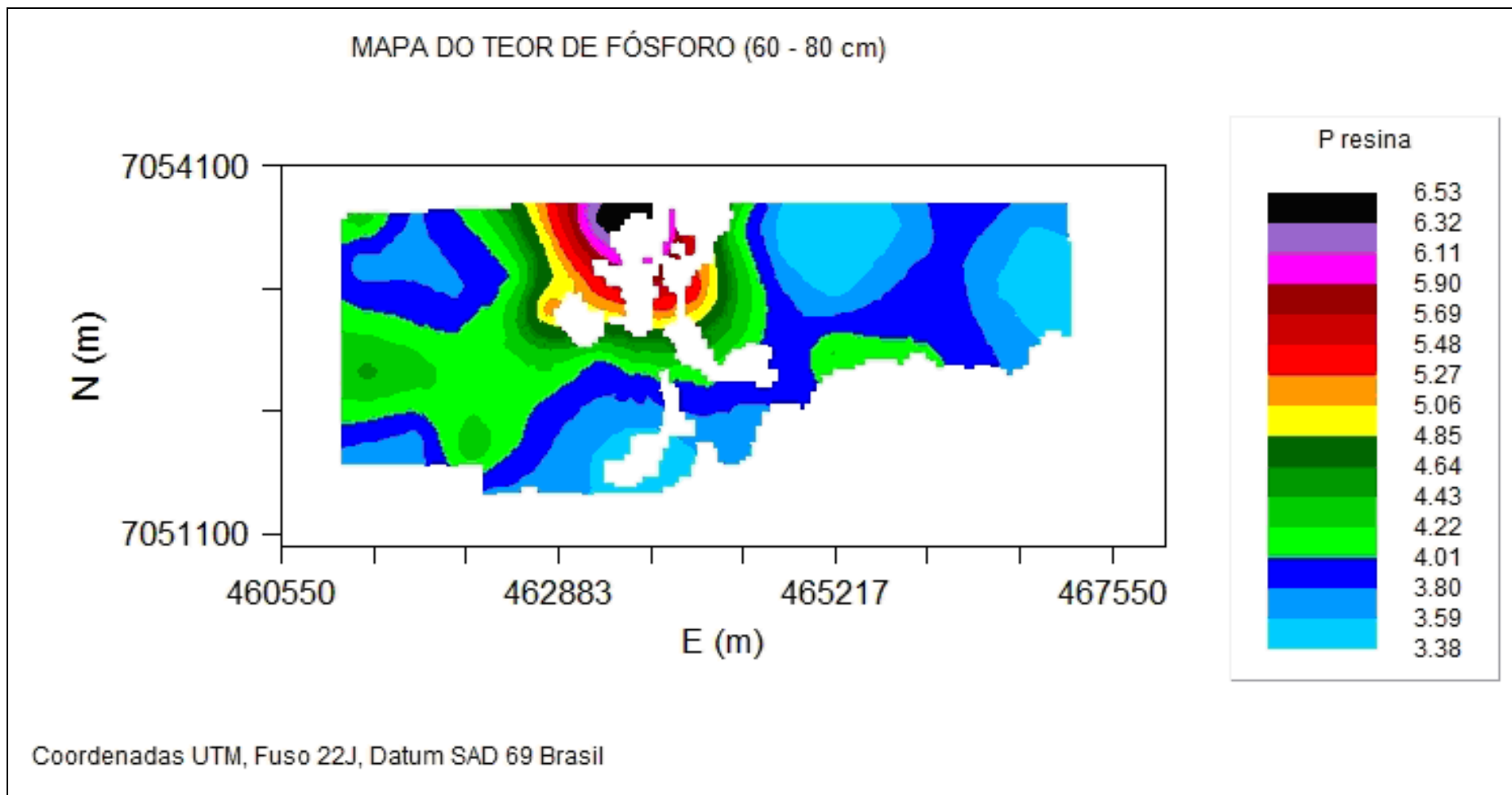


Figura 19. Mapa de isovalores para para teor de fósforo (mg dm^{-3}) (60 – 80 cm)

A forte dependência espacial, obtidos na análise do fósforo, também foram observados por Alvares et al. (2009), em um estudo realizado em Capão Bonito-SP sobre variabilidade espacial dos solos florestais (2 profundidades: 0 – 30 cm e 30 – 80 cm), em áreas de cultivo de *Eucalyptus sp*, observando forte dependência espacial (75,6% e 83,5%, respectivamente), porém utilizando um modelo diferente, o exponencial. Wojciechowski et al. (2009), utilizando os modelos Esférico e Exponencial, obtiveram alcance variando de 92 a 224 metros em áreas de Floresta Estacional Decidual em Santa Tereza-RS, resultados inferiores aos aqui observados, possivelmente em função dos solos serem diferentes, ou ainda, pelo diferente número de observações nos distintos trabalhos.

O teor de potássio (K) observado é considerado médio/alto segundo Raij et al. (2001), sendo observada uma forte dependência espacial (79%) no semivariograma (Figura 20), considerado ótimo, e validação cruzada (Figura 21), utilizando o modelo Esférico, obtendo efeito pepita de 0,5810 e alcance de 2970,00 metros, apresentando as maiores concentrações na porção central da área de estudo (Figura 22).

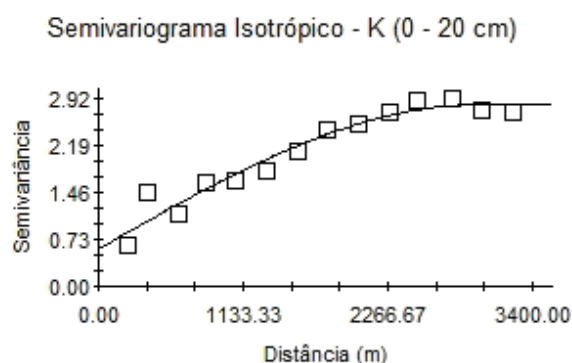


Figura 20. Semivariograma para o teor de potássio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (0 – 20 cm)

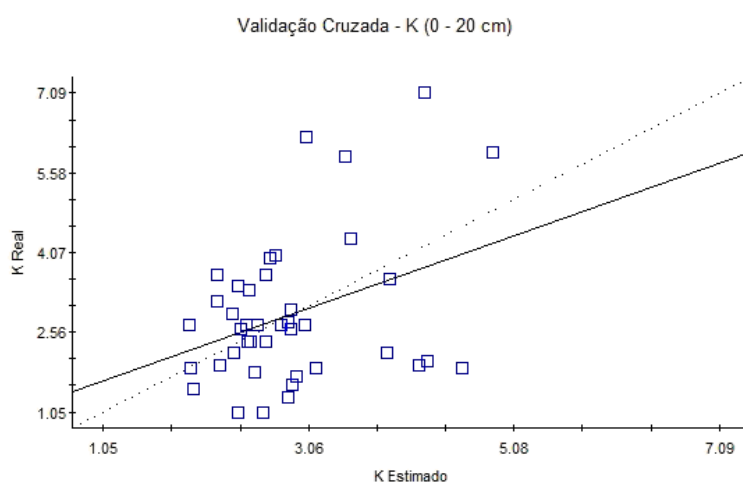


Figura 21. Validação Cruzada para o teor de potássio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (0 – 20 cm)

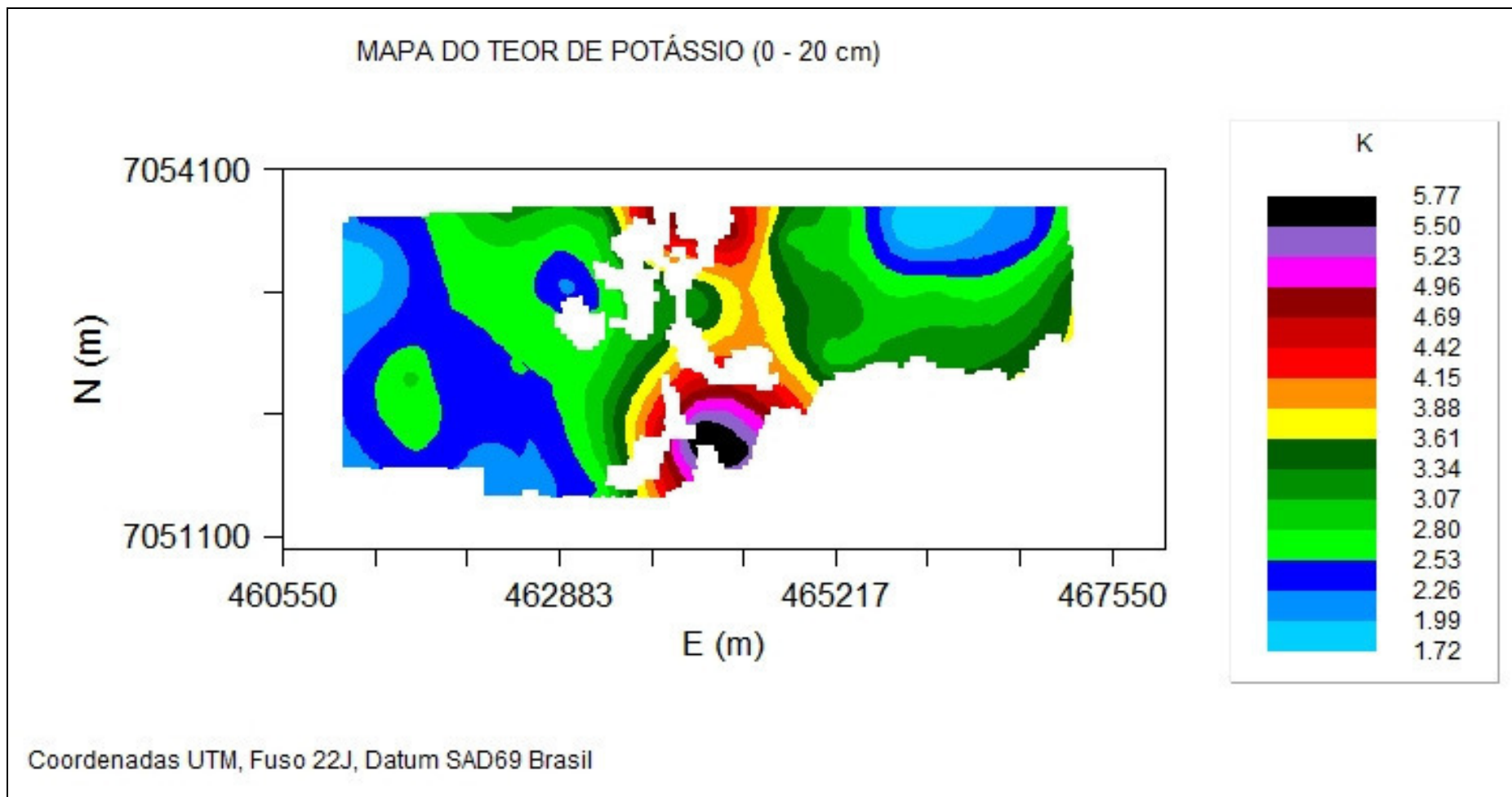


Figura 22. Mapa de isovalores para o teor de potássio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (0 – 20 cm)

Os resultados são mais expressivos que os obtidos por Silva e Chaves (2001), que ajustaram também o modelo esférico para o atributo K, em duas profundidades de solo, com alcance de 168 m e 70 m, respectivamente, nas camadas de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm.

Ainda Wojciechowski et al. (2009) obtiveram um alcance entre 144 e 332 metros, ajustando o modelo Esférico para o teor de K no solo em áreas de Floresta Estacional Decidual em Santa Tereza-RS, resultados menos expressivos (alcance menor) do que os obtidos no presente estudo.

Segundo Ernani et al. (2007), o basalto possui apenas 7 g kg^{-1} de K em sua constituição, estando no solo 98% na forma estrutural, nas estruturas dos minerais primários e secundários, sendo liberado de forma lenta pelo intemperismo. É a forma mais importante para as espécies florestais nativas e exóticas, que têm exigências nutricionais a médio e a longo prazo. O alto teor de K observado na área pode ser resultante da influência do pH, que está na faixa onde justamente a curva de disponibilidade de K, Ca e Mg (bases importantes) aumenta, e também pela mineralização da matéria orgânica no solo, abundante na área de estudo. A capacidade de troca catiônica também influencia a disponibilidade de K, podendo ajudar a explicar a distribuição do K na área, bem como os maiores teores na região central da área de estudo (Figura 24).

Em profundidade, o K apresentou menor teor médio e maior variação em relação à superfície (Quadro 1), possivelmente devido ao material pouco intemperizado e pela lixiviação. Mesmo assim, apresentou forte dependência espacial, com baixo SQR e efeito pepita (Quadro 2), mas na validação cruzada as retas ficaram com as extremidades muito distantes, ou seja, houve subestimação em regiões onde os valores são mais altos e vice-versa, não sendo plotado o mapa de isovalores. Os parâmetros da validação cruzada estão dispostos no Quadro 3.

Os resultados observados, maior teor de potássio na camada de 0 – 20 cm do solo em relação à de 60 – 80 cm, divergem dos resultados encontrados por Calil (2008), onde em um sistema agroflorestal com eucalipto, em Candiota-RS, apresentou maiores concentrações de potássio na profundidade de 80 cm, apesar de possivelmente o material de origem das duas áreas serem diferentes.

Para H^+Al , Al^{3+} , Cálcio, Magnésio, Soma de Bases, CTC, V%, na profundidade de 0 – 20 cm, apesar de terem sido realizadas as análises, não foram plotados os semivariogramas, as validações cruzadas e os mapas de isovalores, por apresentarem

alta soma do quadrado dos resíduos, alto erro padrão de estimado e baixo r^2 , todos com forte dependência espacial, exceto para H+Al, Al^{3+} e Ca, com moderada dependência, resultados de um ajuste pouco preciso do semivariograma teórico ao experimental (Quadro 2 e 3), gerando estimativas errôneas para os atributos citados.

Na profundidade de 60 – 80 cm, Ca, Mg, SB, CTC e V%, também apresentaram efeito pepita puro, mesmo realizando a alteração das distâncias e exclusão de até 10% das observações nas análises realizadas, não plotando-se semivariograma, validação cruzada e o mapa de isovalores. Já H+Al e Al^{3+} apresentaram problemas de estimativas similar aos dos atributos citados no parágrafo anterior (Quadro 2 e 3), não sendo gerados os mapas devido aos erros de estimativa. Para o Enxofre, apesar do semivariograma ter apresentado-se satisfatório, pelo fato deste atributo não apresentar boa distribuição e continuidade nos dados interpolados, nas duas profundidades, não plotou-se também o semivariograma, a validação cruzada e o mapa de isovalores.

Para os atributos que apresentaram dependência espacial nula, foi utilizado o modelo linear, com efeito pepita, alcance e SQR muito elevados (Quadro 2). Esses dados estimados não representam a condição real desses atributos do solo, não devendo ser considerados aceitáveis para caracterização de solo e mapeamento de fertilidade.

As equações para correções dos valores estimados, específicas para cada atributo nas duas profundidades avaliadas, estão presentes no quadro 3, sendo uma tentativa de correção dos erros ocorridos na estimação.

A floresta exerce no solo, na camada 0 – 20 cm, quando comparada com a de 60 – 80 cm, os mesmos efeitos condicionadores e homogeneizadores de um manejo agrícola, pois diminui a variabilidade de vários atributos. Em profundidade, os atributos do solo possuem uma aleatoriedade maior, não sendo influenciados diretamente pela deposição de serapilheira, e com pouca influência do componente espacial na variância total dos dados, restando a influência da variabilidade ambiental (material de origem e processos de formação do solo em profundidade).

Considerando esta situação, fica bastante coerente a matéria orgânica e os demais atributos por ela influenciados (resistência à penetração, pH, teor de Fósforo e Potássio) apresentarem os melhores resultados dentre os atributos avaliados nas duas profundidades no solo, pois a M.O. é o atributo em que a floresta exerce maior influência devido à deposição constante de serapilheira, característica que distingue o solo florestal de um agrícola.

A matéria orgânica do solo é constituída, primordialmente, por restos vegetais e animais em vários estádios de decomposição: húmus, que é o produto da degradação bioquímica desses resíduos; organismos, principalmente a biomassa microbiana atuante nos processos de decomposição; e os rizodepósitos, que são as substâncias orgânicas liberadas pelas raízes das plantas vivas. Cada um desses constituintes apresenta uma dinâmica particular no solo, que advem de dois processos principais: a mineralização e a humificação. Na mineralização, os constituintes orgânicos são transformados em compostos minerais, normalmente exportados do meio, na forma gasosa ou lixiviados, já na humificação, as substâncias orgânicas formadas se associam à fração mineral e permanecem no meio (CERI e MORAES, 1992).

Segundo Büll e Fernandes (2003a), a matéria orgânica atua como agente cimentante pela liberação de certas substâncias, durante a decomposição pelos microorganismos, que comportam-se como “gomos”, agregando partículas do solo, ou seja, ação estruturadora, que aumenta a estruturação e aeração, e diminui a densidade aparente do solo. Os teores de matéria orgânica, juntamente com a umidade do solo, observada no momento da coleta, ação física e mecânica de raízes e de organismos que revolvem o solo, podem justificar a baixa RP observada.

Segundo McBride (1994), a ionização de ácidos carboxílicos, fenólicos e, principalmente, de álcoois terciários da matéria orgânica, contribui para a acidez do solo. Entretanto, em condições de acúmulo de matéria orgânica e no estágio final de sua mineralização, a oxidação libera elétrons, podendo ocasionar um aumento no pH. Sousa et al. (2007), citam que, com a mineralização da matéria orgânica, há liberação de bases (nutrientes ou não), que se encontravam imobilizadas nos tecidos, para a solução do solo, propiciando aumento de seu pH.

A mineralização de compostos orgânicos libera, também, compostos de N e S que, ao sofrerem oxidação, podem liberar prótons na solução do solo, e ainda que a oxidação biológica produz CO_2 , o qual reage com água para formar ácido carbônico, que se dissocia liberando prótons (H^+), contribuindo para a acidificação. Segundo Glória (1992), a adição de material orgânico no solo, em condições aeróbicas, é responsável pela elevação do pH, onde o mecanismo envolvido é o da oxidação do carbono orgânico, que perde elétrons que são recebidos ou pelo oxigênio (O_2), gerando íon oxigênio O^{2-} (com forte característica básica), ou então diretamente pelo íon H^+ .

A matéria orgânica do solo representa um grande reservatório de nutrientes para as plantas, essencialmente de N, P, S. Esses elementos se encontram na matéria

orgânica em formas complexas, não diretamente disponíveis aos vegetais, que os absorvem preferencialmente na forma inorgânica, assim é preciso que haja a mineralização da matéria orgânica. Ela desempenha também indiretamente importante papel na nutrição das plantas através de seus efeitos sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Assim, a matéria orgânica aumenta a CTC do solo e, conseqüentemente, aumenta a retenção de nutrientes (como por exemplo K, entre outros, devido a facilidade com que é lixiviado quando presente em solução do solo), favorece a absorção de alguns micronutrientes, aumenta retenção de água, melhora a agregação, diminui o efeito de elementos tóxicos como o Alumínio, favorece o desenvolvimento de microorganismos, entre outros (CANTARELLA et al., 1992).

Segundo Büll e Fernandes (2003b), havendo matéria orgânica no solo ocorrem várias situações que contribuem para aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas pela formação de complexos fosfo-húmicos, nos quais o P seria mais facilmente absorvido em relação aos fosfatos minerais, interferência na competição entre ânions orgânicos e H_2PO_4^- , nos sítios de fixação no solo, deixando o P não ligado com Ferro; formação de revestimentos húmicos protetores sobre os sesquióxidos com diminuição da fixação de P pelos mesmos; diminuição de compostos fosfatados insolúveis, em virtude de ânions orgânicos liberados pela decomposição da matéria orgânica, como citratos e oxalatos, formarem compostos estáveis com cátions; dissolução de fosfatos insolúveis em água por ácido carbônico, gerado pelo CO_2 liberado na decomposição da matéria orgânica; solubilização de fosfatos insolúveis em água por H_4SO_4 e HNO_3 , provenientes da oxidação do Enxofre e Nitrogênio orgânicos.

A influência da M.O. para o potássio parece ser um pouco menor em relação ao fósforo, sendo ligada mais a retenção do nutriente. O potássio existente na matéria orgânica do solo (resíduos frescos ou humificados de plantas, animais e microorganismos), representa um teor variável por diversos motivos: a quantidade dessa fração oscila largamente em função do tipo de terreno considerado; da quantidade de matéria orgânica, que pode ser bastante diversa. Mediante a mineralização, pela atividade microbiana, de compostos orgânicos do solo, o seu potássio é liberado, passando, então, para as formas solúveis ou trocável, podendo ser aproveitado pelas plantas (MIYASAKA e OKAMOTO, 1992).

De maneira geral, o motivo de ter-se conseguido ajuste dos semivariogramas para poucos atributos do solo, seja possivelmente pelo fato de que a grade amostral utilizada tenha sido planejada para caracterização da floresta (levantamento

fitossociológico), não tendo a configuração necessária para caracterização ou para levantamentos de solos, uma vez que um dos objetivos foi obter informações do solo nos pontos onde a floresta foi mensurada. Outro fator que também influenciou os resultados obtidos foi a alta variância das amostras, observada em muitos dos atributos avaliados, que dificulta o ajuste dos semivariogramas, causando ajustes pouco precisos e erros de estimação.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resistência à Penetração (MPa) média, pH (CaCl₂) (0 – 20 cm), M.O. (0 – 20 cm e 60 – 80 cm), P resina (0 – 20 cm e 60 – 80 cm) e K (0 – 20 cm) apresentaram ajustes de semivariogramas, atendendo todos os quesitos para uma estimação satisfatória, permitindo elaboração de mapas temáticos de isovalores.

Os atributos que apresentaram ajuste de semivariograma, de forma satisfatória ou não (alto SQR, principalmente), mas que apresentaram problemas na validação cruzada (retas opostas, alto erro de estimação, distribuição não equilibrada dos pontos em relação as retas), levando a uma subestimação ou superestimação dos atributos avaliados, não sendo indicado gerar mapas de isovalores, foram pH (CaCl₂), Al³⁺, K, Ca, Mg, SB, CTC (mmol_c dm⁻³) e V% (60 – 80 cm), e para H+Al, S (mg dm⁻³) em ambas profundidades.

Os atributos que apresentaram efeito pepita puro e dependência espacial nula foram profundidade média (m), teor de argila (g kg⁻¹) (0 – 20 cm e 60 – 80 cm), Ca, Mg, SB, CTC (mmol_c dm⁻³) e V%, na profundidade de 60 – 80 cm, utilizando o modelo linear, onde os dados estimados não representam a condição real desses atributos, sendo os dados reais totalmente aleatório, onde a estatística clássica é indicada para a sua avaliação.

A matéria orgânica foi o atributo do solo que apresentou os melhores resultados, em virtude dos bons ajustes dos semivariogramas para o modelo escolhido, o exponencial, nas profundidade de 0 – 20 cm e 60 – 80 cm, com forte e moderada dependência espacial respectivamente, sendo esta a maior influência da floresta no solo em virtude da deposição de serapilheira.

A grade amostral utilizada não foi adequada para caracterizar alguns atributos do solo pela técnica da krigagem, por não ter sido configurada para tal função.

A técnica da krigagem mostrou-se satisfatória em relação aos objetivos propostos, com grande potencial para caracterização do solo e para outras variáveis ambientais, desde que se tomem os devidos cuidados na configuração da grade amostral.

Os atributos do solo mostraram-se extremamente variáveis, mesmo sob condição de solo florestal (Floresta Ombrófila Mista em regeneração após alteração), mostrando que os atributos possuem comportamento diferenciado, onde alguns apresentaram forte dependência espacial e outros nenhuma, o que dificulta a utilização de krigagem no estudo de todos os atributos, quando utilizada a mesma configuração de grade amostral.

Existe a necessidade de mais pesquisas sobre o assunto, principalmente quando se trata da Floresta Ombrófila Mista, uma vez que vários estudos similares estão sendo desenvolvidos em áreas com outras características de uso do solo ou em outras formações vegetais, obtendo resultados coerentes e satisfatórios.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.M. **Florística, estrutura e aspecto físico de Floresta Ombrófila Mista em sistema faxinal no município de Rebouças, Paraná**. Irati, 2009. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.

ALVARES, C.A.; GONÇALVES, J.L.M.; SILVA, C.R.; FRANCISCATTE, W.; NASCIMENTO, L.A. Variabilidade espacial dos solos florestais de Capão Bonito (SP). Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias, 2009. **Anais ...** Botucatu, FCA-UNESP, ISBN 978-85-98187-19-8, 2009.

BARRETO, A.C.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M. Determinação estatística do número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. **Revista Ceres**, v.21, n.114, p. 142-147.

BÜLL, L.T.; FERNANDES, D. **Matéria orgânica do Solo**. Notas de aula da Disciplina de Fertilidade do Solo do Curso de Graduação em Engenharia Florestal. Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2003 (a).

BÜLL, L.T.; FERNANDES, D. **Fósforo no Solo**. Notas de aula da Disciplina de Fertilidade do Solo do Curso de Graduação em Engenharia Florestal. Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, 2003 (b).

CALIL, F.N. **Aspectos nutricionais de um sistema agroflorestal com Eucalipto no sul do Rio Grande do Sul, Brasil**. Santa Maria, 2008, 144f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CAMARGO, E.C.G. **Geoestatística: Fundamentos e aplicações**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em 22 jan. 2010.

CANTARELLA, H.; ABREU, C.A.; BERTON, R.S. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções. **Anais ...**, Botucatu, FCA-UNESP, Iraê Amaral Guerrini e Leonardo Theodoro Büll editores, p 63-122, 1992.

CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L. Consequências do uso e manejo de solo no teor de matéria orgânica. Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções. **Anais ...**, Botucatu, FCA-UNESP, Iraê Amaral Guerrini e Leonardo Theodoro Büll editores, p 25-36, 1992.

CHITOLINA, J.C. **Contribuição de alguns fatores nos resultados da análise química de terra e seus efeitos nas recomendações de adubação e calagem**. Tese (Doutorado), ESALQ, Piracicaba, 1982, 200p.

CRÉPIN, J. JOHNSON, R.L. Soil Sampling for environmental assessment. In: CARTER, M.R. (Ed.). **Soil sampling and methods of Analysis**. Boca Raton: Lewis Publisher, 1993. p. 5-18.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. **Capítulo IX - Potássio**. In: Fertilidade do Solo. SBCS, Viçosa, Editores NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.,V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., 1ª. Edição, 2007.

FRANCO, A.A. Fixação de nitrogênio em árvores e fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, s/n, 1984. p.253-261.

GLÓRIA, N.A. Resíduos industriais como fonte de matéria orgânica. Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções. **Anais ...**, Botucatu, FCA-UNESP, Iraê Amaral Guerrini e Leonardo Theodoro Büll editores, p 63-122, 1992.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, Editora CALQ/ESALQ, 1976. 250p.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. & MATA, J.D.V. Análise exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Science**, n. 23, 2001. p.1149-1157.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística Operacional**. Brasília: MME/DNPM, 1988. 145p.

GS+. **GS+ Geostatistical for environmental science**. Versão 5.0, Michigan: Gamma Design Software, 2000.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p.

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

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Editora UNESP, 1998. 226p.

LITTLE, T.M.; HILLS, F.J. **Agricultural experimentation**. New York, John Wiley e Sons, 1978. 350p.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soil**. Oxford, Oxford Press University, 1994, 406p.

MIYASAKA, S.; OKAMOTO, H. Importância da matéria orgânica na agricultura. Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções. **Anais ...**, Botucatu, FCA-UNESP, Iraê Amaral Guerrini e Leonardo Theodoro Büll editores, p 63-122, 1992.

MÜLLER, M.M.L. **Matéria orgânica do Solo**. Notas de aula da Disciplina de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Curso de Graduação em Agronomia. UNICENTRO, Guarapuava, 2008.

MYERS, J.C. **Geostatistical error management**. Qualifying uncertainty for environmental sampling and mapping. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997. 571p.

OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ, J.E.; LUNA, J.G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, 1999. p.783-789.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad em suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agron. Trop.**, n. 44, 1994. p. 41-65.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RIBEIRO JR., P.J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetro do solo**. Piracicaba, 1995. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agronômica), ESALQ/USP, Piracicaba.

RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência&Ambiente**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, n. 24, jan/jun 2002. p. 75-92.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; SOUZA, Z.M.; BIZARI, D.R.; SOUZA, A.L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32 2008. p.1827-1835.

SARAIVA, O.F. **Amostragem do solo para avaliação de sua fertilidade**: curso de pecuária leiteira. Coronel Pacheco: Embrapa-CNPGL, 1989.

SILVA, P.C.M.; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, 2001. p. 431-436.

SILVA, M.L.; VALVERDE, S.R.; PASSOS, C.A.M.; COUTO, L. Viabilidade do reflorestamento do eucalipto consorciado com a cultura do feijoeiro um estudo de caso. **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.4, 1997. p.527-535.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Capítulo V – Acidez do solo e sua correção**. In: Fertilidade do Solo. SBCS, Viçosa, Editores NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.,V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., 1ª. Edição, 2007.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. Ames, Iowa State University, 7.ed., 1974. 507p.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, n. 38, 1985. p. 45-94.

USDA, **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, 1993. 437p.

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

WOJCIECHOWSKI, J.C.; SCHUMACHER, M.V.; PIRES, C.A.F.; MADRUGA, P.R.A.; KILCA, R.V.; BRUM, E.J.; SILVA, C.R.S.; VACCARO, S.; RONDON NETO, R.M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de Floresta e Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, out.-dez., 2009. p. 383-391.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento de fertilidade do solo**. Botucatu, 2001. 114f. Tese (Livre Docência na Disciplina de Levantamentos de Solos e Fotopedologia), Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu.

ZIMMERMAN, D. L.; ZIMMERMAN, M. B. A comparison of spatial semivariogram estimators and corresponding ordinary kriging predictors. **Tchnometrics**, v. 33, 1991. p.77-91.

4 CONCLUSÕES

O uso da geoestatística neste trabalho foi satisfatório.

Para floresta, a geoestatística, técnica da krigagem, mostrou grande potencial para caracterização da vegetação, apresentando resultados satisfatórios para os índices, onde o Índice de Diversidade de Shannon-Weanar apresentou os melhores resultados.

Para o solo, os melhores resultados foram obtidos para resistência à penetração média, na camada de 0 – 50 cm, para pH (CaCl₂) e teor de Potássio na camada de 0 – 20 cm, para teor matéria orgânica e Fósforo nas camadas de 0 – 20 e 60 – 80 cm de profundidade. A matéria orgânica foi o atributo que apresentou os melhores resultados.

A metodologia proposta atingiu os objetivos do trabalho, visto que foi possível estimar informações em pontos não amostrados para as variáveis da floresta e atributos do solo, verificando a ocorrência de dependência espacial em praticamente todas as análises, onde pode-se elaborar os mapas temáticos que mostram a variabilidade espacial das informações ao longo da área de estudo, caracterizando o fragmento de Floresta Ombrófila Mista sob diversos aspectos, diversidade de espécies, distribuição de espécies, aspectos físicos e de fertilidade do solo, considerando neste sentido o trabalho satisfatório.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)