

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
MAURICIO BERGAMINI SCHEER**

**AMBIENTES ALTOMONTANOS NO PARANÁ: FLORÍSTICA VASCULAR,
ESTRUTURA ARBÓREA, RELAÇÕES PEDOLÓGICAS E DATAÇÕES POR
¹⁴C**

**CURITIBA
2010**

MAURICIO BERGAMINI SCHEER

**AMBIENTES ALTOMONTANOS NO PARANÁ: FLORÍSTICA VASCULAR,
ESTRUTURA ARBÓREA, RELAÇÕES PEDOLÓGICAS E DATAÇÕES POR
¹⁴C**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal - Conservação da Natureza.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan

Co-orientador: Dr. Gustavo Ribas Curcio

**CURITIBA
2010**




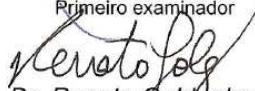
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal


PARECER

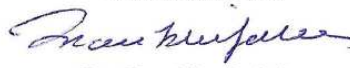
Defesa nº. 825

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Maurício Bergamini Scheer* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**FLORÍSTICA VASCULAR, ESTRUTURA ARBÓREA, CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA, ISÓTOPOS DE CARBONO E DATAÇÕES RADIOCARBÔNICAS EM SOLOS DE ALGUNS SEGMENTOS DA VEGETAÇÃO ALTOMONTANA NA SERRA DO MAR PARANAENSE**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**.


Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda
Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP
Primeiro examinador


Dr. Renato Goldenberg
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Renato Antonio Dedecek
Embrapa/ Florestas
Terceiro examinador


Dr. Franklin Galvão
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Carlos Vellozo Roderjan
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Informamos que o título acima, após a realização da defesa foi alterado por solicitação da Banca Examinadora.

Curitiba, 31 de março de 2010.



Setsuo Iwakiri
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
João Carlos Garzel Leodoro da Silva
Vice-coordenador do curso

AGRADECIMENTOS

Só foi possível realizar este trabalho com a participação de pessoas muito queridas, as quais ajudaram como puderam, sendo pelo amor, carinho, amizade, companheirismo, incentivo, compreensão, trabalho, discussão, bem como pela competência e profissionalismo. Entre essas pessoas agradeço:

Meu pai, Emílio, que sempre me incentivou, orientou e me deu liberdade e suporte para estudar e trabalhar com aquilo que realmente gostasse;

Minha mãe, Ida, sempre dedicada e disponível, participou desde o início desta trajetória, dando apoio às minhas idas para a Serra do Mar, compartilhando com meu pai uma notável “presença” na minha vida, dando-me uma base sólida para que eu pudesse escolher com firmeza meus rumos;

Ao meu irmão Daniel, pela convivência, pela amizade e parceria nas primeiras travessias na Serra do Mar, as quais me levaram a admirá-la;

Ao Guilherme, meu irmão, companheiro, por compreender as dificuldades durante esse caminho trilhado;

À minha esposa Fernanda, pelo amor e carinho, pela amizade e companheirismo, pelas idas nas montanhas da Serra, pelo crescimento e amadurecimento junto comigo, pela compreensão durante “essas etapas da vida”, pelas discussões de relação..., digo, de relações ecológicas nos meus trabalhos. Sua disposição para ajudar os outros é infinita;

À Maria Inez, minha sogra, pelo amor, carinho, amizade, apoio e companheirismo e pela companhia em algumas montanhas da Serra;

Aos meus padrinhos, a toda minha família e da minha esposa pelo amor e compreensão de sempre;

Ao amigo Gustavo Gatti, pela minha iniciação na pesquisa, pelo seu apoio e entusiasmo; ao amigo André Cavassani e demais companheiros do “Projeto Sucessão”;

Ao Alan Mocochini, grande amigo e parceiro nas inúmeras empreitadas e medições nas montanhas da Serra do Mar que levaram à realização trabalho; co-autor da primeira parte deste documento e coordenador do “Projeto Altomontana - parte I”;

Ao Ruddy Proença, amigo presente com toda dedicação em diversas fases de campo na Serra do Mar;

Aos colegas de Pós-Graduação, principalmente Roman Rios e Ludmila Profumo, pela amizade e ótima companhia;

Ao amigo Christopher Blum, grande parceiro de agradáveis conversas, “preocupações” e discussões, pelo compartilhamento de idéias e ideais, pelo exemplo de pessoa, de dedicação e amor pelos ambientes naturais;

Aos diversos amigos que ajudaram nas medições de campo e/ou apoiaram o projeto: Samuel Arruda, Gilberto Tiepolo, Vitor “Alemão”, Yury Vashchenko, Márcia de Lima, Marcos Rachwal, Annete Bonnet, Marcos de Souza, Letícia Sousa, entre outros.

À professora Celina Wisniewski, pelo incentivo, carinho e companhia em algumas idas na Serra;

Ao professor Carlos Roderjan, meu orientador, pela sabedoria, dedicação e disposição de sempre para atender os alunos e pela grande participação nas fases de campo na Serra do Mar;

Ao pesquisador Gustavo Curcio, meu co-orientador, pelo entusiasmo, pelos ensinamentos, grande dedicação nas fases de campo, nas discussões e pelo companheirismo no desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Franklin Galvão, pelas proveitosas discussões, pela dedicação e entusiasmo pela ciência e ensino, e pelas contribuições em minhas duas bancas;

Aos professores Luiz Pessenda, Renato Goldenberg, Renato Dedecek e Alexandre Uhlmann, pela aceitação de participar da minha banca, pelas discussões e contribuições nos manuscritos;

Ao Fabrício Hansel, pela ajuda no preparo da fração húmica dos solos no Laboratório da Embrapa-Florestas;

Aos amigos da Sanepar, pelo apoio, compreensão, pela paciência de ouvir minhas preocupações, especialmente à Kelly Gutseit, pela excelente companhia, amizade, opiniões e grande ajuda nos textos em inglês;

Aos professores e botânicos que ajudaram na identificação de plantas: Élide dos Santos, Osmar Ribas, Juarez Cordeiro, Edimilson Costa, Gerdt Hatschbach, Paulo Labiak, Marcos Sobral, Armando Cervi, Renato Goldenberg, Marília Borgo, Carina Kozera, Marcelo Brotto, Rodrigo Kersten, Miriam Kaehler, entre outros.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade;

À Sociedade Fritz Müller de Ciências Naturais – Mülleriana, instituição responsável pela primeira parte deste projeto;

À Sociedade Chauá, instituição responsável pela segunda parte deste projeto;

À Fundação O Boticário de Proteção à Natureza pelo patrocínio dos projetos que possibilitaram a realização desta tese;

À “Deus”, pela natureza, pela vida, saúde e oportunidade que tem me dado.

À todos...

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ANEXOS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPÍTULO I	6
FLORÍSTICA VASCULAR DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA DE QUATRO SERRAS NO PARANÁ	6
INTRODUÇÃO	8
MATERIAL E MÉTODOS	11
Áreas de estudo.....	11
Levantamento florístico.....	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
Florística vascular das serras amostradas no presente trabalho	16
Comparações da florística vascular das florestas amostradas	34
Comparações com outras serras do Sul e Sudeste brasileiro.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
CAPÍTULO II	46
ESTRUTURA ARBÓREA DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA DE QUATRO SERRAS NO PARANÁ	46
INTRODUÇÃO	48
MATERIAL E MÉTODOS	50
Áreas de estudo.....	50
Levantamentos fitossociológicos e análises dos dados	52
RESULTADOS	54
Estrutura horizontal da FODAM na Serra da Prata.....	54
Estrutura horizontal da FODAM na Serra do Ibitiraquire.....	57
Estrutura horizontal da FODAM na Serra da Igreja.....	60
Estrutura horizontal da FODAM na Serra Gigante	62
Distribuições diamétricas e hipsométricas das florestas estudadas.....	65
Florística, estrutura e diversidade arbórea das serras amostradas no presente trabalho.....	66
Florística, estrutura e diversidade arbórea da Serra do Mar paranaense	69
Comparações com outras serras do Sul e Sudeste brasileiro.....	70
DISCUSSÃO	73

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
CAPÍTULO III	84
FUNCIONALIDADES AMBIENTAIS DE SOLOS ALTOMONTANOS NA SERRA DA IGREJA, PARANÁ.....	84
INTRODUÇÃO	86
MATERIAL E MÉTODOS.....	90
Área de estudo	90
Coleta de amostras e análises dos dados	93
RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
Solos sob os campos altomontanos na Serra da Igreja.....	96
Solos sob Floresta Ombrófila Densa Altomontana na Serra da Igreja.....	99
Diferenças encontradas entre solos das florestas e dos campos altomontanos	101
Estoques de carbono nos solos	104
Comparações com os estoques de carbono na biomassa acima do solo em florestas	106
Estoque potencial de água	110
CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
CAPÍTULO IV.....	119
OCUPAÇÃO HOLOCÊNICA POR FITOTIPIAS ALTOMONTANAS EM CUMEEIRAS DA SERRA DA IGREJA, NO PARANÁ	119
INTRODUÇÃO.....	121
MATERIAL E MÉTODOS.....	124
Área de estudo	124
Coleta de amostras e análises dos dados	128
RESULTADOS E DISCUSSÃO	130
Caracterização dos perfis.....	130
¹³ C da matéria orgânica do solo.....	131
Datações por ¹⁴ C da fração humina	132
Final do Pleistoceno	135
Holoceno.....	137
CONCLUSÕES	141
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	148
ANEXOS.....	150

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1 - Características das áreas amostradas na Serra do Mar no Paraná. APA - Área de Proteção Ambiental; PE - Parque Estadual; PN - Parque Nacional15
- Tabela 2 - Trabalhos utilizados para a comparação da florística arbórea através de análises de agrupamento e de índices de similaridade de Sørensen16
- Tabela 3 - Espécies vasculares da Floresta Ombrófila Densa Altomontana paranaense. Legenda: Forma biológica: ARB – arbusto; ARV – árvore; EPI – epífita; HER – herbácea; TRE – trepadeira; Local: IBI – Serra do Ibitiraquire; IGR – Serra da Igreja; PRA – Serra da Prata; GIG – Serra Gigante; Fitofisionomia: T - floresta altomontana típica; TC – transição para campo altomontano; TM – transição para floresta montana; Coletor: MBS - Maurício Bergamini Scheer; AYM - Alan Yukio Mochinski; RTP - Ruddy Thomas Proença18
- Tabela 4 - Similaridades florísticas com base no índice de Sørensen, considerando as espécies vasculares (incluindo determinações em nível de gênero e de morfotipos) das florestas altomontanas das quatro serras amostradas no Paraná.....35
- Tabela 5 - Similaridades florísticas com base no índice de Sørensen, considerando somente espécies arbóreas (incluindo determinações somente em nível de espécie) das florestas altomontanas das quatro serras amostradas no Paraná e de outras florestas ocorrentes acima dos 1380 m de altitude na região Sul (PR e SC) e acima dos 1800 m na região Sudeste (SP, RJ e MG) do Brasil37
- Tabela 1 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($PAP \geq 10$ cm) dos trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana amostrados na Serra da Prata, município de Paranaguá, PR. Legenda: DA – densidade absoluta (ind/ha); DR – densidade relativa (%); DoA – dominância absoluta (m^2/ha); DoR – dominância relativa (%); FA – frequência absoluta; FR – frequência relativa (%); PI – porcentagem de importância (%)56
- Tabela 2 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($PAP \geq 10$ cm) dos trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana amostrados na Serra do Ibitiraquire, município de Campina Grande do Sul, PR. Legenda: DA – densidade absoluta (ind/ha); DR – densidade relativa (%); DoA – dominância absoluta (m^2/ha); DoR – dominância relativa (%); FA –

frequencia absoluta; FR – frequencia relativa (%); PI – porcentagem de importância (%).....	59
Tabela 3 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($PAP \geq 10$ cm) dos trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana amostrados na Serra da Igreja, município de Morretes, PR. Legenda: DA – densidade absoluta (ind/ha); DR – densidade relativa (%); DoA – dominância absoluta (m^2/ha); DoR – dominância relativa (%); FA – frequencia absoluta; FR – frequencia relativa (%); PI – porcentagem de importância (%)	61
Tabela 4 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas ($PAP \geq 10$ cm) dos trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana amostrados na Serra Gigante, município de Guaraqueçaba, PR. Legenda: DA – densidade absoluta (ind/ha); DR – densidade relativa (%); DoA – dominância absoluta (m^2/ha); DoR – dominância relativa (%); FA – frequencia absoluta; FR – frequencia relativa (%); PI – porcentagem de importância (%)	63
Tabela 5 - Estrutura arbórea de diferentes florestas nebulares (montanas e altomontanas) nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.....	79
Tabela 1 - Propriedades químicas dos solos em ecossistemas altomontanos na Serra da Igreja, PR.....	98
Tabela 2 - Propriedades químicas dos horizontes superficiais e subsuperficiais em ecossistemas altomontanos na Serra da Igreja, PR (n = 5). Valores entre parênteses representam o erro padrão	100
Tabela 3 - Médias das propriedades físico-hídricas dos solos de perfis em ecossistemas altomontanos na Serra da Igreja (n = 2-3)	107
Tabela 4 - Estoques de carbono no solo em diferentes ecossistemas florestais e campestres	108
Tabela 1 - Estratigrafia dos perfis na Serra da Igreja, PR.....	132
Tabela 2 - Datação por ^{14}C da fração humina de horizontes dos Organossolos de campo (Perfis 1 e 2) e do Gleissolo de floresta altomontana (Perfil 3).....	134

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1 - Localização das áreas de estudo no estado do Paraná (em azul) e demais serras utilizadas para comparação, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil13
- Figura 2 - Número de espécies vasculares identificadas para cada família nas quatro serras amostradas no Paraná31
- Figura 3 - a) Florestas e campos altomontanos próximos aos cumes da Serra do Ibitiraquire no Paraná; b) Incêndio ocorrido em florestas primárias na encosta do Pico Caratuva, Serra do Ibitiraquire, em outubro de 2007; c) Aspecto do dossel da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Paraná; d) Aspecto do interior de Floresta Ombrófila Densa Altomontana típica no Pico Caratuva; e) *Alstroemeria amabilis*, uma das espécies descritas recentemente, típicas dos campos altomontanos e comum na borda da floresta altomontana; f) Espécie ainda não descrita de *Hesperozigis* (Élide dos Santos, comunicação pessoal)33
- Figura 4 - Dendrograma de análise de agrupamento com base na presença e ausência de espécies vasculares nas florestas altomontanas de quatro serras amostradas no presente estudo35
- Figura 5 - Dendrograma de análise de agrupamento com base na presença e ausência de espécies arbóreas nas quatro serras amostradas no Paraná e de outras florestas ocorrentes acima dos 1380 m de altitude na região sul (PR e SC) e acima dos 1800 m na região sudeste (SP, RJ e MG) do Brasil.....38
- Figura 1 - Localização das áreas de estudo no estado do Paraná. Adaptado de Scheer & Mochinski (2009)52
- Figura 4 - Distribuição diamétrica dos indivíduos arbóreos nas florestas altomontanas amostradas em quatro serras no Paraná. As linhas verticais representam os desvios padrões. DAP – diâmetro à altura do peito65
- Figura 5 - Distribuição hipsométrica dos indivíduos arbóreos nas florestas altomontanas amostradas em quatro serras no Paraná. As linhas verticais representam os desvios padrões66
- Figura 2 - Espécies ordenadas pelas porcentagens de importância estruturais nas florestas altomontanas amostradas em quatro serras no Paraná68
- Figura 3 - Dendrograma com base nos valores de importância das espécies amostradas nas florestas altomontanas em quatro serras no Paraná69

Figura 6 - Espécies ordenadas pelos valores de importância estruturais nas florestas altomontanas amostradas em 11 levantamentos fitossociológicos em nove serras no Paraná	71
Figura 7 - Famílias ordenadas pelos valores de importância estruturais nas florestas altomontanas amostradas em 11 levantamentos fitossociológicos em nove serras no Paraná	72
Figura 8 - Dendrograma com base nos valores de importância estruturais das espécies amostradas em diferentes florestas altomontanas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. B1 – Baitaca 1 (Anhangava); MCa – Mãe Catira (Serra da Graciosa); B2 – Baitaca 2 (Anhangava); Vig – Vigia (Serra do Marumbi); Ara – Araçatuba; Igr(SC) – Morro da Igreja; Sal – Salto; Gig – Gigante; Ibi – Ibitiraquire; Pra – Prata; Igr(PR) – Serra da Igreja; Mar – Marumbi; Ras – Serra do Rio do Rastro; Ca – Camanducaia; MV - Monte Verde	73
Figura 1 - Localização da sequência amostral na Serra da Igreja, PR.....	92
Figura 2 - Transecto com os pontos amostrados nos compartimentos através de tradagens. T: pontos tradados.....	96
Figura 3 - a) Trechos amostrados na Serra da Igreja, Paraná; b) Perfil 1, Organossolo sob campo altomontano; c) Perfil 2, Organossolo sob campo altomontano com drenagem mais restrita e; d) Perfil 3, Gleissolo sob floresta altomontana	97
Figura 1 - Localização da sequência amostral na Serra da Igreja, PR.....	125
Figura 2 - Transecto com os pontos amostrados nos compartimentos através de tradagens. T: pontos tradados.....	127
Figura 3 - Datações radiocarbônicas da fração humina e $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica dos solos dos perfis na Serra da Igreja	134

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 - Etapas para preparação da humina da matéria orgânica do solo para datação por ^{14}C . a) Amostra de horizonte hístico após primeira flotação em HCl para eliminação de fragmentos vegetais, secada e peneirada a 210 μm ; b) Nova flotação do material peneirado; c) Digestão ácida entre 70 e 80 $^{\circ}\text{C}$; d) Precipitado após repetidas lavagens com água deionizada; e) Material submetido à reação com pirofosfato e hidróxido de sódio; f) Material submetido à reação com pirofosfato e hidróxido de sódio; g) Precipitados submetidos à lavagens após reação alcalina; h) Precipitado hidrólise ácida em torno de 100 $^{\circ}\text{C}$; i) Precipitado após sucessivas lavagens até pH entre 3 e 4; j) fração humina seca em estufa a 40 $^{\circ}\text{C}$, antes de nova moagem, peneiramento a 105 μm e inspeção do envio para análise radiocarbônica por espectrometria de aceleração de massa – AMS; k) fração humina seca e; l) fração humina ligada à fase mineral de horizonte Cg.....151
- Anexo 2 - Montanhas amostradas na Serra do Mar paranaense. a) Vista aérea dos picos amostrados no estudo fitossociológico, na Serra do Ibitiraquire. Da esquerda para direita, picos Ferraria, Taipabuçu, Caratuva e Itapiroca; b) Pico Paraná, ponte culminante (1887 m s.n.m.) da região Sul do Brasil; c) Detalhe dos picos amostrados no estudo florístico na Serra do Ibitiraquire, incluindo os picos Ciririca e Agudo da Cotia ao fundo; d) Vista de Cume na Serra da Prata; e) Vista aérea de montanha na Serra da Prata; f) Um dos trechos do estudo fitossociológico na Serra da Prata; g) Vista aérea da Serra da Igreja; h) Abertura do perfil 2, em Organossolo, na Serra da Igreja; i) Detalhe de campo altomontano na Serra da Igreja; j) Floresta Altomontana na Serra Gigante; k) Cumes na Serra Gigante; e l) Alguns dos picos amostrados no estudo fitossociológico na Serra Gigante152
- Anexo 3 - Peculiaridades e ameaças na Serra do Mar paranaense. a) *Aechmea ornata*, bromélia comum nas florestas altomontanas no Paraná; b) *Manettia cordifolia* c) *Syphocampylus fimbriatus* d) Belezas cênicas dos ambientes altomontanos; e) Tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*) em floresta altomontana na Serra Gigante; f) Detalhe Tamanduá-mirim; g) Ambientes altomontanos ao fundo e mananciais de abastecimento público, represa do Iraí na região metropolitana de Curitiba; h) Incêndio em florestas altomontanas primárias, ocorrido em outubro de 2007, no Pico Caratuva, Parque Estadual do Pico Paraná; i) Detalhe incêndio; j) Trilha de acesso após incêndio; k) Encosta do Pico Caratuva após 2 anos do incêndio, mostrando árvores tombadas e a baixa capacidade de regeneração natural desses ambientes; e l) Detalhe mostrando a invasão por *Pinus* sp.153

RESUMO

Este trabalho faz parte de um conjunto de estudos sobre os ambientes altomontanos no Paraná, envolvendo a Floresta Ombrófila Densa e Campos (Estepe Ombrófila). É essencial o entendimento de quais e de como as espécies vegetais ocupam esses ambientes, das características dos solos onde se desenvolvem, dos potenciais de estocar carbono e de reter água, e de sua dinâmica. Portanto, foram realizados estudos sobre a florística vascular e a estrutura arbórea da floresta altomontana de várias montanhas de importantes blocos/serras que compõem o Complexo da Serra do Mar no Paraná: Serra do Ibitiraquire, Serra da Prata, Serra Gigante e Serra da Igreja. Os dados foram agrupados aos disponíveis para outros trechos paranaenses e comparados com os de trabalhos realizados em outras florestas altomontanas, das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Para a Serra da Igreja, também foi realizado estudo pedológico, com estimativas dos potenciais de estoque de carbono e de retenção de água, com análises isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$) e datações por ^{14}C da fração húmica para inferir sobre como a ocupação desses ambientes pelas fitotipias florestais e campestres foi influenciada por mudanças climáticas durante o final do período Quaternário. Nas florestas altomontanas das quatro serras amostradas, foram detectadas 346 espécies vegetais vasculares, pertencentes a 87 famílias. A família com maior riqueza específica foi Myrtaceae, com 34 espécies (10% do total). A florística arbórea dos trechos amostrados na Floresta Ombrófila Densa Altomontana apresentou a menor similaridade entre as três grandes serras comparadas, com índices um pouco maiores com as florestas altomontanas da região de Aparados da Serra Geral (SC) e menores com a Serra da Mantiqueira (SP, RJ e MG). O estudo fitossociológico resultou em 2294 indivíduos amostrados ($\text{PAP} \geq 10 \text{ cm}$) pertencentes a 28 famílias e 78 espécies. Agrupando as demais serras paranaenses, as cinco espécies com maior porcentagem de importância estrutural foram *Ilex microdonta*, *Siphoneugena reitzii*, *Drimys angustifolia*, *Ocotea porosa* e *Ilex chamaedrifolia*. Os trechos amostrados na Serra do Mar no Paraná apresentaram menor riqueza arbórea que os amostrados na Serra da Mantiqueira (MG) e maior que os nos Aparados da Serra Geral (SC). Na Serra da Igreja, os principais solos encontrados nos campos altomontanos foram Organossolos Háplicos Fíbricos/Sápricos típicos e térricos e nas florestas altomontanas foram Gleissolos Háplicos Alíticos típicos, estes resultantes da expressiva ação de processos morfogenéticos. Os estoques de carbono por unidade de área nos solos dos campos são superiores aos das florestas altomontanas, sendo ambos considerados altos, comparados aos de outros ecossistemas disponíveis na literatura. Outra importante característica ambiental desses solos é a alta capacidade de retenção hídrica devido à sua elevada porosidade total verificada nos horizontes hísticos. Das seis datações, a mais antiga (2625 anos AP) foi observada no horizonte hístico mais profundo (entre 30 e 40 cm de profundidade), próximo ao contato lítico no perfil mais raso de Organossolo no campo altomontano. A única datação na floresta, no horizonte glei imediatamente abaixo do hístico (entre 25 e 35 cm) revelou idade de apenas 900 anos AP. Todos os valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicaram plantas C_3 , tanto nos horizontes dos solos do

campo quanto nos solos na floresta. Apesar da Serra da Igreja, certamente apresentar campos altomontanos provenientes do final do Pleistoceno, como em outros estudos no Sul e Sudeste do Brasil, os sítios estudados, pela sua posição no relevo, são, pelo menos, do início do Holoceno tardio, quando condições de maior umidade propiciaram a colonização/recolonização das cumeeiras da Serra da Igreja, coincidindo com o período, frequentemente documentado na literatura, de avanço de florestas sobre campos e cerrados.

Palavras-chave: Análises $\delta^{13}\text{C}$, Campos Altomontanos, Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Isótopos de C, Organossolos

ABSTRACT

This work is part of a series of studies on the upper montane environments in Paraná, involving the rain forests and high altitude grasslands. It is essential to the understanding of which and how plant species occupy these environments, which are the characteristics of their soils, what is their potential to store carbon and retain water, and understanding its dynamics and evolution. Therefore, studies of the vascular flora and tree structure were carried out in several mountain ranges that make up the complex of the Serra do Mar in Paraná: Serra do Ibitiraquire, Serra da Prata, Serra Gigante and Serra da Igreja. The information was combined with available data from other studies in Paraná and compared to surveys from other upper montane forests, in the southern and southeastern regions of Brazil. A pedological study was conducted in the Serra da Igreja, with estimates of potential carbon storage and water retention, with isotopic analysis ($\delta^{13}\text{C}$) and radiocarbon dating of the humin fraction in order to infer about the evolution of these environments. In the upper montane forests of the four mountain ranges sampled it was found 346 vascular plant species comprising 87 families. The richest family was Myrtaceae, with 34 species (10% of total). The floristic composition of the upper montane forests of the Serra do Mar had the lowest similarity index of the three great mountain ranges compared. The Serra do Mar was slightly more similar to the upper montane forests of the Aparados da Serra Geral region (in SC) and less similar to the Serra da Mantiqueira region (in SP, RJ and MG). The phytosociological study resulted in 2294 individuals sampled (PBH ≥ 10 cm) belonging to 28 families and 78 species. When other mountains of Paraná are considered, the five species with the highest structural importance were *Ilex microdonta*, *Siphoneugena reitzii*, *Drimys angustifolia*, *Ocotea porosa* and *Ilex chamaedrifolia*. The sites sampled in the Serra do Mar in Paraná had lower richness than the Serra da Mantiqueira (MG) and greater richness than the Aparados da Serra Geral (SC). In Serra da Igreja, the main soil types found in the high altitude grasslands were typic - and terric - fibric/sapric Haplic Histosols and the upper montane forests were typic alitic Gleysols, indicating increased activity of morphogenetic processes. Estimates of the potential of carbon stocks per unit area in the soil of the high altitude grasslands is higher than those of the upper montane forests, and both are considered high compared to other ecosystems reported in the literature. Another important environmental feature of these soils is the high capacity of water retention due to its high total porosity observed in histic horizons. According to the carbon dating analysis, performed using the AMS method, the deepest histic horizon (between 30 and 40 cm deep), near the lithic contact in the relatively shallow profile of Histosol in grassland, was the oldest one (2625 years BP). The single dating performed on the gley horizon from the forest immediately below the histic horizon (between 25 and 35 cm) revealed an age of only 900 years BP. In both soil horizons of the grasslands and in the forest, the $\delta^{13}\text{C}$ values indicated C_3 plants. Besides Serra da Igreja certainly presents high altitude grasslands from the late Pleistocene, as related by other studies in southern and southeastern Brazil, the studied sites are at least from the beginning of

the late Holocene, when conditions of high moisture enabled the colonization/recolonization of the ridges of the Serra da Igreja. This is the period, often reported in the literature, of the advance of forest on to grasslands and savannas.

Keywords: $\delta^{13}\text{C}$, High Altitude Grasslands, Upper Montane Cloud Forests, carbon isotopes, Histosols

INTRODUÇÃO

As “Florestas Nebulares de Montanhas Tropicais”, as quais são expostas diretamente à persistência de nuvens e de neblina, sempre foram um assunto fascinante para cientistas de diversas disciplinas, tais como geógrafos, climatologistas, meteorologistas, ecólogos florestais, botânicos, zoólogos, hidrólogos, e conservacionistas em geral (Geraldo Budowski *in* Stadtmuller 1987). Porém, esses ambientes são habitats raros, os quais ainda não têm o devido reconhecimento da sociedade e de governantes de sua excepcional concentração de biodiversidade e de fontes de água potável (Bubb *et al.* 2004; Martínez *et al.* 2009). Em relação a outros ecossistemas, as florestas nebulares altomontanas e os campos altomontanos (campos de altitude ou refúgios vegetacionais altomontanos), geralmente estão em locais de difícil acesso. Tal situação propiciou a existência de áreas significativas ainda em excelente estado de conservação e algumas delas provavelmente intocadas. No entanto, são habitats suscetíveis à fragmentação, especialmente como consequência de mudanças climáticas, bem como pelo desmatamento e por incêndios (Foster 2001; Bubb *et al.* 2004).

Locais com pouquíssima intervenção humana são essenciais para a compreensão do funcionamento de ecossistemas naturais, servindo como parâmetros para o conhecimento de como as atividades antrópicas repercutem no ambiente e como é possível mitigá-las. As regiões altomontanas são ambientes mais úmidos e frios do que regiões vizinhas de menores altitudes. Sua posição diferenciada no relevo, aliada ao histórico de colonizações e recolonizações naturais por sucessivas expansões e retrações de determinados ecossistemas, subsidiadas por mudanças climáticas pretéritas, propiciaram fatores de seleção de espécies. Tais eventos resultaram em uma alta biodiversidade ao longo dos gradientes altitudinais, numa elevada taxa de endemismo e num maior acúmulo de matéria orgânica no solo (Foster 2001; Safford 2007; Becker *et al.* 2007; Benites *et al.* 2007).

Tais características, por si só, justificam a necessidade de entendimento desses ecossistemas para subsidiar medidas para sua proteção, pois além de questões éticas, implicam em imprescindíveis funcionalidades ambientais (Bruijnzeel & Hamilton 2000; Martínez *et al.* 2009), entre elas: (1) banco de diversidade genética, de endemismo e refúgio de espécies de comunidades que ocuparam maiores extensões em tempos pretéritos e atuais; (2) estoque de carbono na biomassa aérea e subterrânea da vegetação e na do solo; (3) armazenamento, filtro e regulação de fluxos hídricos nas cabeceiras de importantes bacias hidrográficas, principalmente mananciais de abastecimento, através da capacidade de suportar altos índices pluviométricos, de interceptar parte da água presente nas nuvens, de reter na sua biomassa (vegetação e solo) e liberar gradualmente para regiões à jusante, e (4) proteção de cabeceiras de bacias hidrográficas amenizando processos erosivos e o assoreamento dos rios. Além dessas funcionalidades, as quais podem ser relacionadas aos serviços ambientais ou ecossistêmicos, estão sua capacidade de serem tratadas como sítios de monitoramento de mudanças climáticas regionais/globais futuras devido à sua susceptibilidade/fragilidade (Bruijnzeel & Hamilton 2000; Foster 2001; Becker *et al.* 2007). Também são importantes suas belezas cênicas, as quais são vinculadas ao turismo recreativo e educativo e o uso sustentável da riqueza florística, prática que, se estudada e regulada para alguns sítios, pode ser realizada por populações de algumas regiões que convivem há centenas de anos nesses ambientes, como por exemplo em florestas montanas e altomontanas peruanas (Bruijnzeel & Hamilton 2000). A perda de ecossistemas naturais pode implicar num significativo prejuízo econômico para a sociedade em termos de serviços ecossistêmicos, embora os ganhos de mercado tenham levado os proprietários das terras à conversão das florestas e campos naturais em áreas desmatadas. Portanto, sob certas condições, um adequado pagamento ou valorização dos serviços ecossistêmicos pode ser uma boa opção para prevenir o desmatamento, mas a compensação deve ser ao menos igual ao valor da oportunidade pelo uso convencional da terra (Martínez *et al.* 2009).

Devido à grande importância do tema, importantes eventos e publicações tem ocorrido no mundo (Stadmuller 1987; Hamilton *et al.* 1995; Bruijnzeel & Hamilton 2000; Bruijnzeel 2000; Bubb *et al.* 2004). Tais esforços resultaram na campanha denominada “The Tropical Montane Cloud Forest Initiative”, envolvendo os Programas Florestas para a Vida e Água Fresca da *World Wide Fund for Nature* (WWF), o Programa de Conservação de Florestas, Áreas Úmidas e de Recursos Hídricos e a Comissão Mundial de Áreas Protegidas em Montanhas, da *World Conservation Union* (IUCN), *World Conservation Monitoring Centre* (WCMC), Programa Hidrológico internacional da *United Nation, Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO), da Universidade Vrije de Amsterdam/Holanda, bem como pesquisadores e profissionais da área e outras instituições não governamentais. Os representantes das citadas entidades agruparam informações já existentes, definiram termos, apontaram a carência de dados para incentivar futuras pesquisas e ações para sua conservação. Não só com interesse puramente científico, o objetivo desses trabalhos tem sido de informar a sociedade e os governantes sobre as imprescindíveis funcionalidades desses ecossistemas e da sua necessidade de preservação, considerando que muitos deles estão correndo o risco de desaparecer, em muitas regiões, com taxas maiores do que qualquer outro bioma tropical (Bruijnzeel & Hamilton 2000; Bubb *et al.* 2004).

A região leste do estado do Paraná comporta importantes blocos da Serra do Mar, com importantes trechos de ocorrência de ecossistemas altomontanos (Floresta Ombrófila Densa Altomontana e Campos Altomontanos) e, como para os demais ecossistemas altomontanos do Brasil, as informações disponíveis na literatura são escassas. Com o interesse de agregar novos conhecimentos a esse pequeno conjunto de dados, o presente trabalho teve os seguintes objetivos: (1) analisar a florística vascular e a estrutura arbórea da floresta altomontana de diversas montanhas de quatro importantes serras, comparando com outros trabalhos realizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, e (2) caracterizar solos e suas funcionalidades e verificar indícios de como a ocupação do ambiente altomontano por fitotipias florestais e campestres foi

influenciada pelas mudanças climáticas durante o final do período Quaternário, em cumeeiras da Serra da Igreja, comparando com demais trabalhos realizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Como o presente estudo está apresentado por capítulos na forma de artigos, os principais resultados e discussões para atender o primeiro objetivo estão nos dois primeiros capítulos:

I) Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná (versão anterior publicada);

II) Estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná;

O segundo objetivo resultou no terceiro e no quarto capítulos:

III) Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná, e;

IV) Ocupação holocênica por fitotipias altomontanas em cumeeiras da Serra da Igreja, no Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, A., KÖRNER, C., BRUN, J., GUIBAN, A. & TAPPEINER, U. Ecological and land use studies along elevational gradients. *Mt. Res. Dev.*, 27(1):58-65, 2007.

BENITES, V.M., CAIAFA, A.N., MENDONÇA, E.S., SCHAEFFER, C.E.G.R. & KER, J.C. Solos e vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Revista Floresta e Ambiente*, 10:76-85, 2003.

BRUIJNZEEL, L.A. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. In: PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL COLLOQUIUM. J.S. Gladwell, ed. Anais. Paris, UNESCO, 2000. p.353-383.

BRUIJNZEEL, L.A. & HAMILTON, L.S. Decision Time for Cloud Forests. 2000. IHP Humid Tropics Programme Series n. 13, IHP-UNESCO, Paris, IUCN-NL, Amsterdam and WWF International, Gland, 44 pp.

BUBB, P.; MAY, I.; MILES, L.; SAYER, J. Cloud forest agenda. UNEP, WCMC–World Conservation Monitoring Center, Cambridge, UK. 2004

FOSTER, P. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55:73-106, 2001.

HAMILTON, L.S., JUVIK, J.O. & SCATENA, F.N. 1995. The Puerto Rico tropical cloud forest symposium: introduction and workshop synthesis In: HAMILTON, L.S., JUVIK, J.O. & SCATENA, F.N. *Tropical montane cloud forests*. New York, Springer Verlag, 1995. p.1-23.

MARTÍNEZ, M. L., PÉREZ-MAQUEO, O., VÁZQUEZ, G., CASTILLO-CAMPOS, G., GARCÍA-FRANCO, J., MEHLTRETER, K., EQUIHUA, M. & LANDGRAVE, R. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecol. Manage.*, 258(9):1856-1863, 2009.

SAFFORD, H. F. Brazilian Páramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. *J. Biogeogr.*, 34:1701-1722, 2007.

STADTMÜLLER, T. Cloud Forests in the humid tropics: a bibliographic review. The United Nations University; Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza, Tokyo; Turrialba, Costa Rica. 1987. 81p.

CAPÍTULO I

FLORÍSTICA VASCULAR DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE ALTOMONTANA DE QUATRO SERRAS NO PARANÁ

FLORISTIC COMPOSITION OF FOUR TROPICAL UPPER MONTANE RAIN FORESTS IN SOUTHERN BRAZIL

(Versão anterior publicada na Revista Biota Neotropica v9., n.2, 2009)

RESUMO

A Floresta Ombrófila Densa Altomontana é uma formação responsável por importantes funções ambientais, como a proteção e manutenção dos fluxos hídricos de cabeceiras de bacias hidrográficas, o estoque de carbono em sua biomassa e na do solo, além da sua biodiversidade e seu elevado endemismo. Apesar de ainda existirem remanescentes primários significativos dessas florestas, apenas alguns estudos descreveram sua estrutura arbórea. O presente trabalho teve o objetivo de listar e comparar a florística vascular de quatro serras representativas da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Paraná e de comparar a florística arbórea das florestas do presente estudo com a de outras florestas semelhantes nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Foram detectadas 346 espécies vegetais vasculares, pertencentes a 176 gêneros e a 87 famílias, sendo 72 angiospermas (288 espécies), 14 pteridófitas (57 espécies) e 1 gimnosperma. A família com maior riqueza específica foi Myrtaceae, com 34 espécies (10% do total), seguida por Asteraceae (30; 9%), Orchidaceae (29; 8%), Rubiaceae (17; 5%), Melastomataceae (16; 5%), Poaceae (12; 3%) e Bromeliaceae (11; 3%). Do total de espécies encontradas, 231 (67%) foram classificadas como típicas da formação, 68 (19%) como transicionais para florestas montanas e 49 (14%) como transicionais para campos de altitude. Os dados da composição florística arbórea das florestas altomontanas da Serra do Mar paranaense apresentaram a menor similaridade entre as três grandes serras comparadas, com índices um pouco maiores

com as florestas altomontanas da região de Aparados da Serra Geral (SC) e menores com a Serra da Mantiqueira, Sudeste do Brasil (SP, RJ e MG). Além de diferenças geológicas, geomorfológicas, pedológicas e fitofisionômicas, as diferenças florísticas encontradas nas florestas altomontanas da Serra do Mar do Paraná em relação às demais serras comparadas pode também ser explicada pela melhor conservação dos trechos amostrados e pela baixa influência de elementos de outros tipos vegetacionais próximos (Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa Montana e vegetação secundária).

Palavras-chave: Floresta nebulosa tropical/subtropical, Floresta Atlântica, Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Serra do Mar.

ABSTRACT

The Cloud Forests have very important environmental roles, besides their biodiversity and endemism. The maintenance and protection of the watersheds and the carbon storage in their biomass and in the soil are among these roles. Despite the existence of considerable remnants of primary cloud forests, there are few studies reporting the species that occur in these ecosystems. The aim of this study was to characterize the floristic composition of four areas of the Upper Montane Rain Forest of the “Serra do Mar” in the state of Paraná and to compare it to other cloud forests in Southern (SC) and Southeastern (SP, RJ, MG) Brazil. A total of 346 vascular species belonging to 87 families were observed, being 72 angiosperms (288 species), 14 pteridophytes (57 species) and one gymnosperm. The richest families were Myrtaceae (34 species; 10% of total), Asteraceae (30; 9%), Orchidaceae (29; 8%), Rubiaceae (17; 5%), Melastomataceae (16; 5%), Poaceae (12; 3%) and Bromeliaceae (11; 3%). Out of the 346 species found in typical cloud forests, 231 species were classified as typical, 41 as transitionals from high altitude grasslands and 68 as transitionals from lower montane

forests. The largest area of cloud forests and the highest species richness (231 species) was observed in the “Serra do Ibitiraquire” in Paraná. When comparing the upper montane forests of the “Serra do Mar to other Brazilian cloud forests, the “Serra do Mar” had the lowest similarity index of all the forests compared. The “Serra do Mar” was slightly more similar to the upper montane forests of the Aparados da Serra Geral region (in SC) and less similar to the Serra da Mantiqueira region (in SP , RJ and MG). This can be explained by differences in geology, geomorphology, pedology, forest structure and conservation status among the studied areas, as well as due to a comparatively low influence of “Mixed Ombrophyllous forests” species (Araucaria Moist forests) and pioneer and lower montane species in the “Serra do Mar”.

Keywords: Tropical/Subtropical Upper Montane Cloud Forest, Atlantic Rain Forest, Sea Mountain Range.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas altomontanos (Floresta Ombrófila Densa Altomontana e Refúgios Vegetacionais Altomontanos; Veloso *et al.* 1991) são ambientes singulares, que recebem um aporte adicional de água por estarem situados nos patamares altimétricos superiores das montanhas, onde as nuvens são mais frequentes (Hamilton *et al.* 1995). A retenção hídrica desses ecossistemas é ainda maior devido à redução da radiação solar e da evapotranspiração (Hamilton *et al.* 1995, Bruijnzeel & Proctor 1995). As menores temperaturas em altitudes elevadas também diminuem as taxas de decomposição da biomassa, causando um maior acúmulo de matéria orgânica nos solos. Essa característica indica altos potenciais de fixação de carbono e de retenção hídrica (Bruijnzeel 2000). Aliado à sua importância hidrológica, principalmente na proteção e manutenção de cabeceiras das bacias hidrográficas, está sua importância

para a diversidade biológica, uma vez que comporta altos níveis de endemismo animal e vegetal (Hamilton *et al.* 1995).

No Brasil, as florestas altomontanas, também chamadas de florestas nebulares, florestas altimontanas ou matinhas nebulares, foram descritas inicialmente por Dusén (1955) na região Sudeste e por Klein (1980) na região Sul. Estudos recentes em florestas altomontanas em condições diferentes (ecótonos, florestas decíduais e semidecíduais e ombrófilas mistas) foram realizados por Meira Neto *et al.* (1989), Fontes (1997), França & Stehmann (2004), Oliveira-Filho *et al.* (2004) e Carvalho *et al.* (2005), no estado de Minas Gerais e por Falkenberg & Voltolini (1995) e Falkenberg (2003) em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul. Também nos últimos anos, descrições mais detalhadas da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Paraná foram realizadas pelos trabalhos de Bolòs *et al.* (1991), Roderjan (1994), Rocha (1999), Koehler (2001), Portes *et al.* (2001), Petean (2002) e Koehler *et al.* (2002).

No Paraná, a Floresta Ombrófila Densa Altomontana ocorre, em média, a partir dos 1200 m s.n.m. e caracteriza-se por significativas diferenças estruturais quando comparadas às florestas de patamares altimétricos mais baixos. Dentre essas diferenças, as mais marcantes são a menor altura das árvores (em torno de 4 m); a maior densidade de fustes; formação de apenas um estrato com copas entremeadas que formam um dossel bastante denso e com ausência de árvores emergentes; troncos e ramos retorcidos; folhas pequenas e freqüentemente coriáceas e a abundância de epífitas. Além disso, com a elevação da altitude, percebe-se uma gradativa diminuição da riqueza de espécies, reflexo do aumento do grau de adversidade ambiental (Roderjan 1994), seja por condicionantes climáticos e/ou por atributos pedológicos. Esse tipo vegetacional apresenta um elevado endemismo, decorrente de pressões de seleção singulares.

Os ecossistemas altomontanos, por se localizarem em áreas de difícil acesso, em geral apresentam menores potenciais de ocupação imobiliária, de produção agropecuária e de exploração madeireira. Porém, muitos remanescentes vêm sendo descaracterizados devido à introdução de espécies exóticas, à exploração de madeira e

de recursos não madeiráveis, às queimadas utilizadas nas atividades agrícolas e silviculturais, ao turismo desordenado, à extração de plantas ornamentais e medicinais, à caça, à mineração, à construção de estradas e à instalação de torres de telecomunicação (Doumenge *et al.* 1995, Hamilton *et al.* 1995, Vitousek 1998). Bruijnzeel (2000) citou diversos autores que apontaram a possibilidade do aquecimento global elevar o patamar altimétrico de condensação das nuvens e, possivelmente, diminuir as oportunidades dos ecossistemas interceptarem a água presente nelas. Em diversas regiões, a taxa de desaparecimento das florestas em montanhas excede às das áreas pluviais tropicais de menores altitudes (Hamilton *et al.* 1995). De acordo com a FAO, a perda anual de florestas em montanhas tropicais, no período entre 1981 e 1990, foi de 1,1% comparado com 0,8% para as demais florestas dos trópicos (Doumenge *et al.* 1995). A degradação desses ecossistemas ainda é agravada pela sua baixa resiliência (Hamilton *et al.* 1995).

Falkenberg & Voltolini (1995) salientaram a falta de conhecimento a respeito da diversidade de espécies e a necessidade de pesquisas biológicas básicas e inventários como pré-requisito para ações para a conservação e restauração desses ambientes. A maior parte do conhecimento científico sobre os ecossistemas altomontanos tropicais concentra-se nas montanhas da América Central e noroeste da América do Sul. Estudos florísticos sobre tais ecossistemas podem apontar índices de diversidade, espécies novas, raras, endêmicas, indicadoras de ambientes ainda bem conservados, subsidiar estudos fitogeográficos e o fortalecimento de estratégias de conservação da diversidade biológica e da qualidade ambiental.

No presente trabalho foram avaliados trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana em quatro serras no estado do Paraná (altitudes entre 950 e 1850 m), pertencentes ao Complexo Serra do Mar, com os objetivos de: (1) listar as espécies da flora vascular; (2) comparar a florística vascular das quatro serras entre si; (3) comparar a florística arbórea das florestas do presente estudo com a de outras florestas ombrófilas acima dos 1380 e 1800 m de altitude, respectivamente nas regiões sul e sudeste do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de estudo

O conjunto de montanhas das serras do Mar e da Mantiqueira constitui a mais destacada feição orográfica da borda atlântica do continente sul-americano. A Serra do Mar se estende do Rio de Janeiro ao norte de Santa Catarina, onde se desfaz em cordões de serras paralelas e montanhas isoladas drenadas diretamente para o mar, sobretudo pela bacia do rio Itajaí (Almeida & Carneiro, 1998).

No Paraná, a Serra do Mar constitui em uma zona limítrofe entre o litoral e o planalto meridional. Pelo lado continental, esta região se eleva de 500 a 1000 m sobre o nível médio do planalto e pelo lado oriental pode se elevar a mais de 1800 m sobre o nível do mar, sendo este mais escarpado. É dividida em vários maciços, escarpas e restos de planalto profundamente dissecados, formando primordialmente um arco granitóide com concavidade voltada para o leste. Os vários blocos diminuem suas elevações de nordeste para sudoeste com denominações regionais especiais de serras: do Capivari Grande, da Virgem Maria, do Ibitiraquire, da Graciosa, da Farinha Seca, do Marumbi, da Igreja, dos Castelhanos, do Araçatuba, da Baitaca, da Pedra Branca do Araraquara, da Prata, das Canavieiras, entre outras (Maack 2002, Bigarella *et al.* 1978). Entre estes maciços, a Serra dos Órgãos paranaense (ou Ibitiraquire) possui as maiores elevações da região Sul do país, tendo como seus pontos culminantes os picos Paraná, com 1887 m s.n.m., e Caratua, com 1850 m s.n.m.

O clima das florestas altomontanas da Serra do Mar paranaense é classificado como Cfb, segundo Köppen, sendo subtropical, sempre úmido e com a temperatura média do mês mais frio abaixo de 18 °C e superior a - 3 °C e a média do mês mais quente inferior a 22 °C (Roderjan 1994). Roderjan & Grodski (1999) observaram temperatura mínima absoluta de - 5 °C, média anual de 13,4 °C e máxima absoluta de 30 °C para patamares altomontanos a 1385 m s.n.m., em ambiente florestal, no Morro do Anhangava, no município de Quatro Barras, Paraná. As precipitações na Serra do

Mar são bem distribuídas ao longo do ano e apresentam grande variação em função da topografia local. Medições na região litorânea ultrapassam 2000 mm anuais e nas encostas da serra os valores chegam a 3500 mm (Maack 2002).

A Floresta Ombrófila Densa Atlântica cobre a maior extensão das montanhas, atingindo, em sua formação altomontana, as porções mais elevadas das encostas e vales, acima de 1800 m s.n.m. Em alguns trechos, nas encostas a oeste, ocorre o ecótono entre esta e a Floresta Ombrófila Mista Montana, a aproximadamente 1100 m s.n.m., com ocorrência de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Já nas porções mais elevadas das montanhas, passam a ocorrer os campos altomontanos.

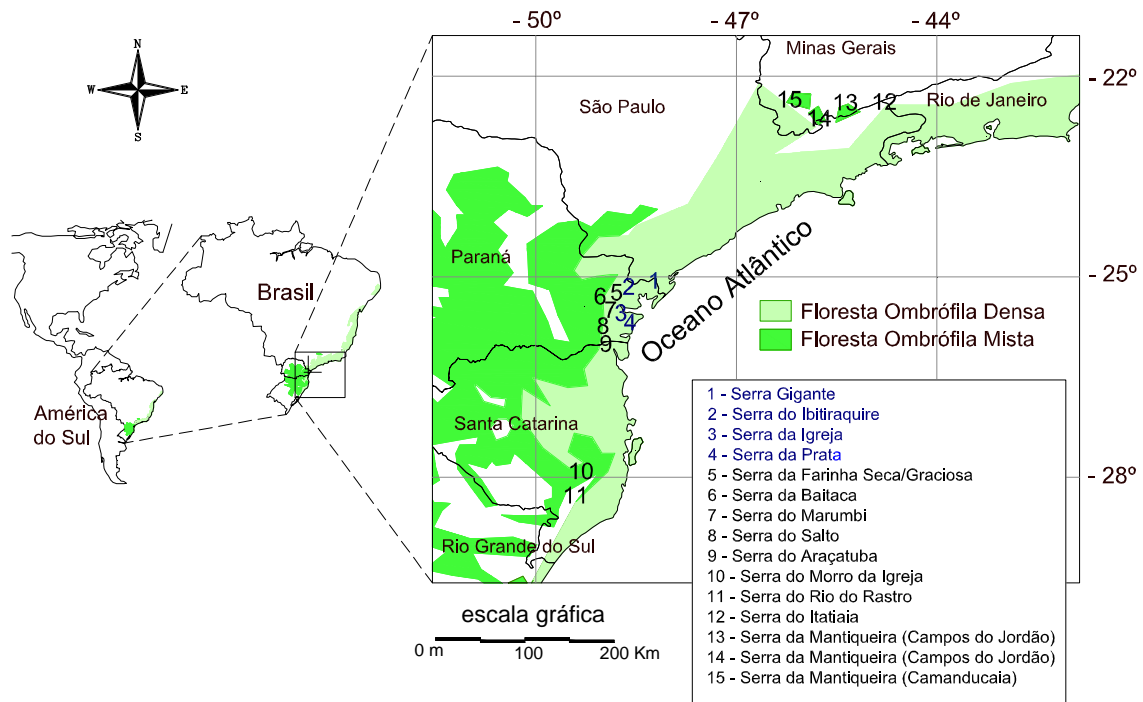
Foram amostradas quatro subserras, entre as coordenadas 26°00' S e 49°30' W, e 25°00' S e 48°00' W, denominadas regionalmente de Serra do Ibitiraquire, Serra da Igreja, Serra da Prata e Serra Gigante (Figura 1, Anexo 2). A escolha das áreas de estudo levou em consideração a representatividade da área de ocorrência dessa formação no Paraná. Os solos das áreas amostradas são predominantemente Neossolos Litólicos, Organossolos, podendo ocorrer Cambissolos e Argissolos Vermelho-Amarelos (Roderjan *et al.* 2002, Rocha 1999). As florestas altomontanas nos trechos estudados estão inseridas em diferentes unidades de conservação (Tabela 1).

Levantamento florístico

O levantamento florístico foi realizado entre agosto de 2002 e agosto de 2004, com fases de campo mensais. O esforço amostral variou de acordo com a extensão das áreas de estudo (diferente número e tamanho de montanhas e picos amostrados, conforme Tabela 1) e com fatores logísticos, relacionados principalmente com a dificuldade de acesso aos trechos de ocorrência da formação. Foram realizados 55 dias de levantamento florístico com coletas aleatórias ao longo de trilhas, bem como locais mais isolados, empreendidos concomitantemente com o levantamento da estrutura arbórea da formação (25 parcelas de 10 x 10 m em cada serra), cujos resultados ainda não foram publicados (Capítulo II).

Figura 1 - Localização das áreas de estudo no estado do Paraná (em azul) e demais serras utilizadas para comparação, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil

Figure 1 - Location of the studied areas in the state of Paraná (in blue), and other mountain ranges used for comparisons, in Southern and Southeastern Brazil



Adaptado de: IBGE (2004)

Em cada fase de campo procedeu-se a coleta das espécies vegetais vasculares encontradas férteis na área de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa Altomontana. Uma vez que a transição entre as formações de floresta de um patamar altitudinal para outro é dado por um gradiente de mudanças florísticas e estruturais, a amostragem do presente trabalho evitou áreas de transição entre as formações Montana e a Altomontana. Assim, as coletas foram efetuadas apenas em trechos de floresta com características estruturais e fisionômicas tipicamente altomontanas, tais como: presença de apenas um estrato arbóreo, com porte reduzido (3 a 7 m de altura) e com troncos com muitas ramificações tortuosas, densamente cobertas por epífitas avasculares, as quais foram classificadas como florestas altomontanas típicas (Figura

3d). Segundo revisão bibliográfica de Stadtmüller (1987), tais considerações se enquadram nas descrições de formações de florestas nebulares “Cloud Forests” localizadas nos patamares superiores das montanhas, denominadas “Elfin Woodlands” ou “Dwarf Cloud Forests”. Da mesma forma, não foram amostrados trechos de transição entre a floresta altomontana e os campos altomontanos. Naturalmente, espécies normalmente ocorrentes nessas formações vizinhas eventualmente foram detectadas nos trechos estudados, sendo que para o presente estudo foram classificadas como transicionais e compõem a diversidade florística da formação. A integridade dos trechos estudados foi outro critério para a amostragem. Procederam-se coletas apenas em trechos de florestas com características primárias, sem indicativos de intervenção.

A determinação das espécies foi realizada com o uso de chaves de identificação, comparação com material de herbários e confirmações com especialistas. Utilizou-se a classificação taxonômica proposta por APG II (2003) para o reconhecimento das famílias de angiospermas, e a proposta por Tryon e Tryon (1982) para as pteridófitas. O material de referência foi incorporado ao acervo do Museu Botânico Municipal de Curitiba (MBM) e as duplicatas doadas ao Herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná (UPCB) e ao Herbário da Escola de Florestas de Curitiba (EFC).

Para a comparação da florística vascular das florestas altomontanas amostradas e da florística arbórea dessas com a de outras florestas ocorrentes acima dos 1380 m de altitude na região Sul (PR e SC) e acima dos 1800 m na região Sudeste (SP, RJ e MG) do Brasil, foram calculados os índices de similaridade de Sørensen (Brower & Zar 1984) e realizadas análises de agrupamentos (Cluster) envolvendo presença e ausência de espécies. Tais florestas foram escolhidas para análise por serem descritas como ombrófilas e altomontanas, ocorrentes em importantes complexos montanhosos do Sul e Sudeste do Brasil: Aparados da Serra Geral, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira (Tabela 2). Nas análises envolvendo só as quatro serras amostradas pelo presente trabalho, foram consideradas determinações em nível de espécie, de gênero e também morfotipos. Já para as análises envolvendo dados de

outros trabalhos (florística arbórea), foram consideradas somente determinações em nível de espécie. O agrupamento foi realizado pelo método de Ward (variância mínima) com a utilização da distância euclidiana quadrática como medida métrica. Segundo Valentin (2000), tal método é considerado muito eficiente em estudos ecológicos, pois resulta em dendrogramas bem representativos da realidade.

Tabela 1 - Características das áreas amostradas na Serra do Mar no Paraná. APA - Área de Proteção Ambiental; PE - Parque Estadual; PN - Parque Nacional

Table 1 - Characteristics of the studied areas in Sea Mountain Range in the state of Paraná, Southern Brazil; APA - Environmental Protection Area; PE - State Park; PN - National Park

Toponímia	Ponto Culminante (m s.n.m.)	Localização (Municípios)	Litologia*	Coordenadas UTM, Datum SAD 69, Fuso 22	Características	Proteção por UC
Serra do Ibitiraquire	1887	Campina Grande do Sul e Antonina	Álcali-Granitos (Granito Graciosa)	719.000 E 7.205.000 N	Trecho mais extenso e de maior gradiente altitudinal de florestas altomontanas. Existem 13 montanhas com mais de 1500 m s.n.m. (10 montanhas amostradas).	PE's do Pico Paraná e Roberto Ribas Lange
Serra da Igreja	1376	Morretes, São José dos Pinhais e Guaratuba	Álcali-Granitos (Granito Serra da Igreja)	715.000 E 7.164.000 N	Florestas altomontanas ocorrem a partir de 1200 m s.n.m.. Possui topos aplainados (3 montanhas amostradas).	APA de Guaratuba
Serra da Prata	1502	Morretes, Paranaguá e Guaratuba	Complexo Gnáissico-Migmatítico (Suíte Granítica Foliada)	725.000 E 7.166.000 N	Florestas altomontanas ocorrem a partir de 1200 m s.n.m.. Serra isolada na planície litorânea, sem contato com o planalto (uma montanha amostrada).	PN Saint Hilaire-Lange
Serra Gigante	1069	Guaraqueçaba (PR) e Cananéia (SP)	Complexo Gnáissico-Migmatítico (Suíte Granítica Foliada)	786.000 E 7.216.000 N	Florestas altomontanas ocorrem a partir de 950 m s.n.m.. Serra isolada na planície litorânea, sem contato com o planalto (5 montanhas amostradas).	APA de Guaraqueçaba e PE de Jacupiranga (SP)

*de acordo com (PRÓ-ATLÂNTICA, 2002)

Tabela 2 - Trabalhos utilizados para a comparação da florística arbórea através de análises de agrupamento e de índices de similaridade de Sørensen

Table 2 - Cloud forests sites used for arboreal floristic comparisons through Cluster analysis and Sørensen indexes

Complexo	Local	Nº de espécies arbóreas envolvidas nas análises do presente trabalho	Altitude	Referência
	Camanducaia, MG	55	1900	França & Stehmann (2004)
Serra da Mantiqueira	Parque Estadual Campos do Jordão, SP	55	1800-2000	Robim <i>et al.</i> (1990)
	Campos do Jordão, SP	38	1882	Pereira-Silva <i>et al.</i> (2007)
	Serra do Itatiaia, RJ	30	> 2000	Brade (1956)
Aparados da Serra	Serra do Rio do Rastro, SC	57	1400*	Falkenberg (2003)
	Morro da Igreja, SC	43	1820*	Falkenberg (2003)
	Serra da Baitaca (Morro Anhangava), PR	28	1460*	Roderjan (1994)/Portes <i>et al.</i> (2001)
	Serra do Marumbi, PR	35	1545*/1380*	Rocha 1999/Koehler <i>et al.</i> (2002)
Serra do Mar	Serra do Araçatuba, PR	17	1610*	Koehler <i>et al.</i> (2002)
	Serra do Salto, PR	20	1390*	Koehler <i>et al.</i> (2002)
	Serra da Farinha Seca (Morro Mãe Catira), PR	20	1457*	Koehler <i>et al.</i> (2002)
	Serra do Ibitiraquire, PR	66	1887*	Presente trabalho
	Serra da Igreja, PR	56	1376*	Presente trabalho
	Serra da Prata, PR	49	1502*	Presente trabalho
	Serra Gigante, PR	60	1069*	Presente trabalho

*refere-se ao ponto culminante de cada serra/subserra

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Florística vascular das serras amostradas no presente trabalho

Nos quatro trechos estudados na Serra do Mar paranaense, foram encontradas 346 espécies vegetais vasculares (Tabela 3), pertencentes a 176 gêneros e a 87

famílias, sendo 72 angiospermas (288 espécies), 14 pteridófitas (57 espécies) e 1 gimnosperma.

Quanto à forma de vida das espécies registradas, 30,6% (106 espécies) são árvores, outros 30,6% (106 spp.) são herbáceas, 15,6% (54) são epífitas, 14,7% (51) são arbustos, 7,5% (26) são trepadeiras e 0,9% (3) são hemiparasitas. As 106 espécies arbóreas pertencem a 37 famílias, sendo a de maior riqueza específica Myrtaceae (10 gen., 34 spp.), seguida por Lauraceae (4 gen., 9 spp.), Rubiaceae (4 gen., 6 spp.) e por Aquifoliaceae (1 gen. 6 spp.). Os dados são similares à compilação de Oliveira-Filho & Fontes (2000), em que Myrtaceae, Melastomataceae, Lauraceae e Rubiaceae foram consideradas famílias com maior número de espécies arbóreas em florestas ombrófilas atlânticas de patamares montanos e altomontanos. Koehler *et al.* (2002) listaram 55 espécies pertencentes a 24 famílias em estudo sobre a estrutura arbórea de seis áreas de florestas altomontanas no Paraná.

A maioria dos estudos sobre as florestas altomontanas restringiu-se à análise da estrutura do componente arbóreo da formação, o que dificulta comparações e discussões mais aprofundadas com os resultados aqui apresentados. Em um dos poucos estudos no Brasil, que abordaram a florística de florestas altomontanas, Falkenberg (2003) listou 461 espécies vegetais vasculares em florestas altomontanas com forte influência da Floresta Ombrófila Mista nos Aparados da Serra Geral em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, denominadas “matinhas nebulares”. Cabe ressaltar que, neste trabalho, o autor incluiu espécies amostradas em áreas com interferência antrópica, como por exemplo, o pastejo bovino.

Tabela 3 - Espécies vasculares da Floresta Ombrófila Densa Altomontana paranaense. Legenda: Forma biológica: ARB – arbusto; ARV – árvore; EPI – epífita; HER – herbácea; TRE – trepadeira; Local: IBI – Serra do Ibitiraquire; IGR – Serra da Igreja; PRA – Serra da Prata; GIG – Serra Gigante; Fitofisionomia: T - floresta altomontana típica; TC – transição para campo altomontano; TM – transição para floresta montana; Coletor: MBS - Maurício Bergamini Scheer; AYM - Alan Yukio Mocoichinski; RTP - Ruddy Thomas Proença

Table 3 - List of cloud forest species in Sea Mountain Range in the state of Paraná, Southern Brazil. Legend: Life-form: ARB – shrub; ARV – tree; EPI – epiphyte; HER – herbaceous; TRE – climbers. Areas: IBI – Serra do Ibitiraquire; IGR – Serra da Igreja; PRA – Serra da Prata; GIG – Serra Gigante; Formation: T - typical upper montane cloud forest; TC – high altitude grassland transition; TM – lower montane transition; Collector: MBS - Maurício Bergamini Scheer; AYM - Alan Yukio Mocoichinski; RTP - Ruddy Thomas Proença

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
ANGIOSPERMAE							
ACANTHACEAE							
<i>Justicia cordifolia</i> Heyne ex Wall.	ARB	X				T	AYM 161
ALSTROEMERIACEAE							
<i>Alstroemeria amabilis</i> M.C.Assis	HER	X	X	X		TC	MBS 202
AMARYLLIDACEAE							
<i>Hippeastrum illustre</i> (Vell.) Dutilh	HER	X	X	X		TC	MBS 207
ANNONACEAE							
<i>Guatteria australis</i> A.St.-Hil.	ARV				X	TM	AYM 160
APOCYNACEAE							
<i>Aspidosperma pyricollum</i> Müll. Arg.	ARV				X	TM	AYM 159
<i>Mandevilla atrovioleacea</i> (Stadelm.) Woodson	TREP				X	TM	MBS 226
<i>Mandevilla immaculata</i> Woodson	TREP	X	X			TM	AYM 35
<i>Orthosia dusenii</i> (Malme) Fontella	HER	X	X	X		TC	MBS 295
<i>Oxypetalum</i> sp.	TREP		X	X		TC	AYM 28
Indeterminada 1	TREP	X				T	AYM 311
Indeterminada 2	TREP		X	X	X	T	MBS 401
AQUIFOLIACEAE							
<i>Ilex dumosa</i> Reissek	ARV				X	TM	MBS s/nº
<i>Ilex chamaedrifolia</i> Reissek	ARV	X	X	X	X	T	AYM 157
<i>Ilex microdonta</i> Reissek	ARV	X	X	X	X	T	AYM 32
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	ARV	X	X	X		TM	MBS 405
<i>Ilex taubertiana</i> Loes.	ARV				X	TM	MBS 529
<i>Ilex integerrima</i> Reissek	ARV	X			X	T	MBS 528
ARACEAE							
<i>Anthurium acutum</i> N.E.Brown	HER		X	X	X	T	MBS 617

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL			Fitofisionomia	AMOSTRA	
		IBI	IGR	PRA			GIG
<i>Anthurium</i> cf. <i>scandens</i> (Aubl.) Engl.	HER	X			T	MBS s/n°	
<i>Anthurium longicuspidatum</i> Engl.	HER	X	X	X	T	AYM 247	
<i>Philodendron cordatum</i> Kunth.	HER			X	TM	MBS 618	
<i>Philodendron</i> sp.	HER	X		X	T	AYM 249	
ARALIACEAE							
<i>Hydrocotyle quinqueloba</i> Ruiz & Pav.	HER	X	X	X	X	T	MBS 530
<i>Hydrocotyle</i> sp.	HER	X				T	MBS s/n°
ARECACEAE							
<i>Geonoma schottiana</i> Mart.	ARV		X		X	TM	AYM 7
ARISTOLOCHIACEAE							
<i>Aristolochia</i> cf. <i>triangularis</i> Cham. & Schl.	TREP			X		TC	MBS 760
ASTERACEAE							
<i>Austroeuatorium neglectum</i> (B.L. Rob.) R.M.King & H.Rob.	ARB	X			X	TC	MBS 619
<i>Baccharis aracatubensis</i> Teodoro & Hatschbach ex G.M.Barroso	ARB		X			TC	MBS 625
<i>Baccharis brachylaenoides</i> DC. var <i>brachylaenoides</i>	ARV	X	X	X	X	T	AYM 3
<i>Baccharis curitybensis</i> Heering & Dusén	ARB	X		X		TC	AYM 129
<i>Baccharis illinita</i> DC.	ARB		X	X		TC	MBS 57
<i>Baccharis leucocephala</i> Dusén	ARB	X				TC	MBS 632
<i>Baccharis tarchonanthoides</i> Baker	ARB	X				TC	AYM 257
<i>Baccharis</i> sp.	ARB	X				TC	AYM 308
<i>Critoniopsis quinqueflora</i> (Less.) H.Rob.	ARB	X	X	X		T	MBS 408
<i>Dasyphyllum spinescens</i> (Less.) Cabrera	ARB	X		X		T	AYM 259
<i>Dasyphyllum</i> sp.	ARB	X		X		T	MBS 700
<i>Dendrophorbium limosus</i> C. Jeffrey	TREP	X	X	X	X	TC	MBS 13
<i>Grazielia</i> cf. <i>serrata</i> (Spreng.) R.M.King & H.Rob.	HER	X	X			TC	AYM 256
<i>Heterocondylus alatus</i> (Vell.) R.M.King & H.Rob.	ARB	X	X	X		T	MBS 694
<i>Mikania campanulata</i> Gardner	TREP	X		X	X	T	MBS 634
<i>Mikania involucrata</i> Hook. & Arn.	HER				X	TC	AYM258
<i>Mikania lanuginosa</i> DC.	HER	X	X		X	T	MBS 621
<i>Mikania lindbergii</i> Baker	TREP				X	TM	MBS 635
<i>Mikania paranaensis</i> Dusén	TREP	X				TC	MBS s/n°
<i>Mikania</i> sp. 1	TREP			X		TC	AYM139
<i>Mikania</i> sp. 2	TREP		X			TC	MBS s/n°
<i>Pentacalia desiderabilis</i> (Vell.) Cuatrec.	TREP	X	X	X		T	AYM 250
<i>Piptocarpha densifolia</i> Dusén ex. G.L.Smith	ARV	X	X		X	T	MBS 627

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL			Fitofisionomia	AMOSTRA	
		IBI	IGR	PRA GIG			
<i>Symphiopappus lymansmithii</i> B.L.Rob.	ARV	X	X		T	MBS 624	
<i>Trixis brasiliensis</i> (L.) DC.	HER	X	X	X	T	AYM 252	
<i>Verbesina glabrata</i> Hook & Arn.	HER		X	X	T	MBS 411	
Indeterminada 1	ARB		X		T	MBS 407	
Indeterminada 2	ARB		X		T	MBS 434	
Indeterminada 3	ARB		X		T	MBS 409	
Indeterminada 4	ARB		X		T	MBS 410	
BEGONIACEAE							
<i>Begonia</i> aff. <i>angulata</i> Vell.	HER	X	X	X	T	AYM 163	
BERBERIDACEAE							
<i>Berberis laurina</i> Billb.	ARB	X			TC	MBS 121	
BIGNONIACEAE							
<i>Anemopaegma chamberlaynii</i> (Sims) Bureau & K.Schum.	TREP	X	X	X	T	MBS 508	
<i>Anemopaegma prostratum</i> DC.	TREP				X	T	MBS 535
<i>Anemopaegma</i> sp.	TREP					TC	AYM 373
<i>Tabebuia catarinensis</i> A. Gentry	ARV	X	X	X	X	T	MBS 10
BROMELIACEAE							
<i>Aechmea</i> cf. <i>fasciata</i> (Lindl.) Baker	HER				X	TM	AYM 374
<i>Aechmea cylindrata</i> Lindm.	EPI		X	X		TM	MBS s/nº
<i>Aechmea ornata</i> Baker	HER	X	X	X		T	MBS s/nº
<i>Aechmea ornata</i> Baker var. <i>hoeneana</i> L.B.Sm.	HER				X	T	MBS 538
<i>Nidularium campo-alegrensis</i> Leme	HER		X	X	X	T	MBS 748
<i>Pitcairnia flammea</i> Lindl. var. <i>floccosa</i> L.B.Sm.	HER	X		X	X	TM	MBS s/nº
<i>Vriesea altodaserrae</i> L.B. Sm.	HER		X		X	T	AYM 167
<i>Vriesea heterostachys</i> (Baker) L.B.Sm.	HER				X	TM	AYM 366
<i>Vriesea guttata</i> Linden & André	HER			X	X	TM	MBS 537
<i>Vriesea platynema</i> var. <i>variegata</i> Gaudich.	HER	X	X	X	X	TC	AYM 166
<i>Wittrockia cyathiformis</i> (Vellozo) Leme	HER		X		X	T	MBS 416
CACTACEAE							
<i>Hatiora gaertneri</i> (Regel) Barthlott	EPI	X				T	MBS 539
<i>Hatiora rosea</i> (Lagerh.) Barthlott	EPI			X		T	MBS 507
<i>Rhipsalis</i> sp.	EPI	X				T	AYM 98
CAMPANULACEAE							
<i>Siphocampylus eichleri</i> Kanitz	HER	X				TC	AYM 169
<i>Siphocampylus fimbriatus</i> Regel	HER	X	X		X	T	MBS 234

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
<i>Siphocampylus fulgens</i> Leb.	HER	X	X	X		T	AYM 45
CARDIOPTERIDACEAE							
<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) Howard	ARV	X	X	X	X	T	AYM 182
CELASTRACEAE							
<i>Maytenus glaucescens</i> Reiss.	ARV	X	X	X		T	MBS 418
<i>Maytenus urbaniana</i> Loes.	ARV	X		X		T	MBS 541
CHLORANTACEAE							
<i>Hedyosmum brasiliense</i> Miq.	ARB				X	TM	MBS 544
CLETHRACEAE							
<i>Clethra scabra</i> Sleumer var. <i>variegata</i> (Meissner) Sleumer	ARV				X	T	AYM 172
<i>Clethra uleana</i> Sleumer	ARV	X	X	X		T	MBS 353
CORNACEAE							
<i>Griselinia ruscifolia</i> (Clos.) Taub.	TREP	X	X	X	X	T	AYM 46
CUCURBITACEAE							
<i>Cayaponia</i> cf. <i>palinata</i> Cogn.	TREP	X	X			T	AYM 318
CUNONIACEAE							
<i>Weinmannia humilis</i> Engler	ARV	X	X	X		T	MBS 16
<i>Weinmannia paullinifolia</i> Pohl ex Ser.	ARV		X		X	TM	AYM 173
CYPERACEAE							
<i>Carex</i> sp.	HER		X			TC	AYM 103
<i>Pleurostachys beyrichii</i> (Nees) Steud.	HER	X	X	X	X	T	MBS 419
<i>Rhynchospora</i> cf. <i>exaltata</i> Kunth	HER	X	X	X	X	TC	MBS 468
<i>Rhynchospora</i> cf. <i>splendens</i> Lindm.	HER	X	X	X		T	MBS 419
<i>Rhynchospora</i> sp.	HER	X				T	MBS 684
<i>Scleria panicoides</i> Kunth	HER			X	X	T	AYM 298
Indeterminada 1	HER		X			T	AYM 47
Indeterminada 2	HER		X			T	AYM 104
Indeterminada 3	HER		X			T	AYM 103
DIOSCOREACEAE							
<i>Dioscorea sanpaulensis</i> R. Knuth	TREP	X	X		X	TC	AYM 174
ERICACEAE							
<i>Agarista niederleinii</i> (Sleumer) Judd var. <i>acutifolia</i> Judd	ARV	X		X		TC	MBS 421
<i>Agarista niederleinii</i> (Sleumer) Judd var. <i>niederleinii</i>	ARV		X			TC	MBS 549
<i>Agarista</i> sp.	ARV				X	TC	AYM 376
<i>Gaultheria serrata</i> (Vell.) Sleum. ex Kin.-Gouv. var. <i>organensis</i>	ARB	X				TC	MBS s/nº

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
<i>Gaultheria</i> sp.	ARB	X				TC	MBS 395
<i>Gaylussacia brasiliensis</i> Meisn. var. <i>brasiliensis</i>	ARB	X	X	X	X	TC	MBS 378
<i>Gaylussacia caratuvensis</i> R.R.Silva & Cervi	ARB	X				TC	MBS 77
<i>Gaylussacia</i> sp.	ARB		X			TC	MBS 394
ERYTHROXYLACEAE							
<i>Erythroxylum gonoclados</i> (Mart.) O.E. Schulz	ARB	X	X	X		T	MBS 550
ESCALLONIACEAE							
<i>Escallonia laevis</i> (Vell.) Sleum.	ARV	X				TC	MBS 247
EUPHORBIACEAE							
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	ARV	X	X			TM	MBS s/nº
<i>Phyllanthus carolinensis</i> Walter	ARB		X			T	MBS 397
FABACEAE - CAESALPINIOIDEAE							
<i>Senna organensis</i> (Glaz. ex Harms) Irw. & Barn var. <i>extratropica</i>	ARV	X			X	TC	AYM 223
FABACEAE - MIMOSOIDEAE							
<i>Inga barbata</i> Benth	ARV	X	X		X	T	MBS 592
GENTIANACEAE							
<i>Macrocarpaea rubra</i> Malme	HER		X	X	X	T	MBS 115
GESNERIACEAE							
<i>Nematanthus australis</i> Chautems	EPI	X	X	X	X	T	MBS s/nº
<i>Nematanthus</i> cf. <i>tessmanii</i> (Hoehne) Chautems	EPI		X			TM	MBS 422
<i>Sinningia</i> aff. <i>magnifica</i> (Otto & A.Dietr.) Wiehle	HER	X				TC	AYM 369
<i>Sinningia mauroana</i> Chateums	EPI				X	T	MBS 274
IRIDACEAE							
<i>Sisyrinchium vaginatum</i> Spreng.	HER			X		TC	MBS 520
LAMIACEAE							
<i>Hesperozigis rhododon</i> Epling	ARB	X	X	X		TC	MBS s/nº
<i>Hesperozigis</i> sp. inedit.	HER	X				TC	MBS s/nº
<i>Salvia melissiflora</i> Benth	HER	X				T	MBS s/nº
LAURACEAE							
<i>Ocotea porosa</i> (Nees & C. Mart.) Barroso	ARV	X	X	X	X	T	AYM 214
<i>Ocotea vaccinioides</i> (Meisn.) Mez	ARV		X		X	T	MBS 504
<i>Ocotea pulchella</i> Mart.	ARV		X			TM	MBS 426
<i>Ocotea bicolor</i> Vattimo	ARV	X			X	T	AYM 215
<i>Ocotea tristis</i> Mart. ex Nees	ARV				X	T	MBS 494
<i>Persea alba</i> Nees	ARV	X			X	T	AYM 213

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
<i>Persea pyrifolia</i> (Ness.) Kopp.	ARV	X	X	X		T	AYM 57
<i>Nectandra cf. membranacea</i> (Sw.) Griseb.	ARV	X				T	MBS 750
<i>Cinamomum cf. hatschbachii</i> Vattimo	ARV			X	X	TM	MBS s/nº
LENTIBULARIACEAE							
<i>Utricularia reniformis</i> A. St. Hill.	HER	X	X	X		T	AYM 217
LOGANIACEAE							
<i>Spigelia tetraptera</i> Taub. ex Glaz.	ARB	X		X		T	AYM 138
LORANTHACEAE							
<i>Struthanthus cf. vulgaris</i> Mart.	TREP				X	T	MBS 106
<i>Struthanthus complexus</i> Eichler	TREP	X				T	MBS 685
<i>Struthanthus</i> sp.	TREP	X				T	AYM 309
MALPIGHIACEAE							
<i>Heteropterys nitida</i> H.B. & K.	TREP				X	TM	MBS 323
MELASTOMATACEAE							
<i>Leandra acutiflora</i> (Naudin) Cogn.	ARB		X			T	MBS 429
<i>Leandra carassana</i> (DC.) Cogn.	ARB			X		T	MBS 509
<i>Leandra hatschbachii</i> Brade	ARB	X	X			T	MBS 656
<i>Leandra cf. multiplinervis</i> (Naudin) Cogn.	ARB	X				T	MBS 655
<i>Leandra cf. quinquedentata</i> (Mart. & Schrank) Cogn.	ARB	X	X	X	X	T	MBS 239
<i>Leandra</i> sp. 1	ARB	X				T	AYM 321
<i>Leandra</i> sp. 2	HER			X		T	MBS 509
<i>Miconia cubatanensis</i> Hoehne	ARB		X	X		TM	AYM 276
<i>Miconia lymanii</i> Wurdack	ARB	X	X	X	X	T	AYM 62
<i>Miconia ramboi</i> Brade	ARV	X					MBS s/nº
<i>Miconia</i> sp.	ARB		X			T	AYM 279
<i>Tibouchina hospita</i> (DC) Cogn.	ARB					TC	MBS 661
<i>Tibouchina hatschbachii</i> Wurdack	ARB	X			X	TC	MBS 325
<i>Tibouchina reitzii</i> Brade	ARV	X	X	X	X	T	MBS 286
Indeterminada 1	ARB	X				T	AYM 278
Indeterminada 2	ARB	X				T	MBS 696
MELIACEAE							
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	ARV		X	X	X	TM	MBS s/nº
MONIMIACEAE							
<i>Mollinedia cf. uleana</i> Perk.	ARV	X	X	X		T	AYM 141
MYRSINACEAE							

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
<i>Conomorpha peruviana</i> A.DC.	ARV		X	X		TM	MBS 596
<i>Myrsine altomontana</i> M.F.Freitas & Kin.-Gouv.	ARV	X	X	X	X	T	MBS 81
<i>Myrsine</i> cf. <i>umbellata</i> Mart. ex DC.	ARV	X	X		X	TM	AYM 225
MYRTACEAE							
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (H.B.K.) O.Berg	ARV	X	X	X	X	T	AYM 146
<i>Calypttranthes obovata</i> Kiaersk.	ARV	X				T	MBS 640
<i>Calypttranthes</i> sp.	ARV	X				T	AYM 285
<i>Eugenia</i> cf. <i>oeidocarpa</i> O.Berg.	ARV				X	TM	AYM 293
<i>Eugenia eurysepala</i> Kiaersk.	ARV			X	X	TM	MBS 665
<i>Eugenia handroana</i> D.Legrand	ARV	X			X	TM	AYM 133
<i>Eugenia neomyrtifolia</i> Sobral	ARB	X		X		T	AYM 126
<i>Eugenia sclerocalyx</i> D.Legrand	ARV	X	X	X		T	AYM 68
<i>Eugenia</i> sp.	ARV	X	X			T	AYM 288
<i>Gomidesia sellowiana</i> Berg.	ARV	X	X	X	X	T	AYM 320
<i>Myrceugenia alpigena</i> (DC.) Landrum	ARV	X				T	AYM 264
<i>Myrceugenia euosma</i> (O.Berg) D.Legrand	ARV	X	X	X	X	T	MBS 501
<i>Myrceugenia franciscensis</i> (O.Berg) Landrum	ARV	X	X	X	X	T	AYM 130
<i>Myrceugenia myrcioides</i> (Cambess.) O.Berg.	ARV	X				T	MBS 687
<i>Myrceugenia ovata</i> (Hook & Arn.) O.Berg.	ARV	X	X	X		T	MBS 649
<i>Myrceugenia pilotantha</i> (Kiaersk.) Landrum	ARV	X		X		T	MBS 662
<i>Myrceugenia seriatoramosa</i> (Kiaersk.) D.Legrand & Krausel	ARV	X	X	X		T	AYM 291
<i>Myrceugenia</i> sp. 1	ARV	X	X	X		T	MBS 692
<i>Myrceugenia</i> sp. 2	ARV			X		T	MBS 679
<i>Myrcia breviramis</i> (Berg.) D.Legrand	ARV	X	X	X	X	T	MBS 65
<i>Myrcia dicrophylla</i> D.Legrand	ARV				X	TM	MBS 503
<i>Myrcia</i> cf. <i>freyreissiana</i> (O. Berg.) Kiaersk.	ARV				X	TM	MBS 669
<i>Myrcia</i> cf. <i>rostrata</i> DC.	ARV		X			TM	AYM 268
<i>Myrcia obtecta</i> Kiaersk.	ARV	X		X	X	T	MBS 641
<i>Myrcia richardiana</i> (O.Berg) Kiaersk.	ARV	X	X	X	X	T	MBS 496
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (Gomes) Landrum	ARV	X	X	X	X	T	AYM 270
<i>Plinia cordifolia</i> (D.Legrand.) Sobral	ARV	X	X	X		T	MBS 365
<i>Psidium</i> sp.	ARV				X	TM	AYM 289
<i>Siphoneugena reitzii</i> D.Legrand	ARV	X	X	X	X	T	AYM 123
Indeterminada 1	ARV		X			T	MBS s/nº
Indeterminada 2	ARV				X	T	AYM 288

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
Indeterminada 3	ARV	X		X		T	MBS 515
Indeterminada 4	ARV			X		T	AYM 145
Indeterminada 5	ARV	X				T	MBS 687
NYCTAGINACEAE							
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	ARV				X	TM	MBS 232
OCHNACEAE							
<i>Ouratea vaccinioides</i> Engl.	ARV			X	X	T	AYM 186
ONAGRACEAE							
<i>Fuchsia regia</i> (Vand. ex. Vell) Muniz var. <i>serrae</i> P.E.Berry	TREP	X	X	X		T	AYM 144
ORCHIDACEAE							
<i>Bulbophyllum napellii</i> Lindl.	EPI				X	TM	MBS 580
<i>Dichaea anchorifera</i> Cogn.	EPI				X	TM	AYM 208
<i>Encyclia</i> cf. <i>patens</i> Hook.	EPI				X	TM	AYM 209
<i>Encyclia fausta</i> (Rchb. f. ex Cogn.) Pabst	EPI		X			T	AYM 240
<i>Epidendron ellipticum</i> Grah.	HER				X	TC	MBS 113
<i>Gomesa</i> sp.	EPI				X	TM	AYM 211
<i>Maxillaria bradei</i> Schltr. ex Hoehne	EPI				X	TM	AYM 212
<i>Maxillaria picta</i> Hook.	EPI				X	TM	AYM 131
<i>Maxillaria</i> sp.	EPI					T	MBS 608
<i>Octomeria</i> cf. <i>iguapensis</i> Schltr.	EPI				X	T	MBS s/nº
<i>Octomeria</i> cf. <i>robusta</i> Barb.Rodr.	EPI					T	MBS 577
<i>Oncidium flexuosum</i> (Kunth) Lindl.	HER				X	TM	MBS 581
<i>Oncidium</i> sp.	HER				X	T	MBS s/nº
<i>Phymatidium tillandsioides</i> Barb.Rodr.	EPI		X			T	AYM 206
<i>Pleurothallis</i> sp. 1	EPI				X	TM	MBS 582
<i>Pleurothallis</i> sp. 2	EPI				X	TM	AYM 239
<i>Pleurothallis</i> sp. 3	EPI				X	TM	MBS s/nº
<i>Prescottia</i> cf. <i>stachyoides</i> (Sw.) Lindl.	HER	X		X	X	TM	AYM 678
<i>Promenaea xanthina</i> Lindl.	EPI					T	AYM 189
<i>Promenaea</i> sp.	EPI		X			T	MBS s/nº
<i>Sauroglossum</i> sp.	HER				X	TM	MBS 578
<i>Scaphyglottis modesta</i> (Rchb. f.) Schltr.	EPI				X	TM	AYM 188
<i>Sophronitis coccinea</i> (Lindl.) Reichb.	EPI	X	X	X	X	T	MBS 114
<i>Stelis</i> cf. <i>fraterna</i> Lindl.	EPI					T	AYM 238
Indeterminada 1	EPI		X			T	MBS s/nº

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL			Fitofisionomia	AMOSTRA	
		IBI	IGR	PRA GIG			
Indeterminada 2	EPI		X		T	MBS s/n°	
Indeterminada 3	EPI			X	TM	MBS s/n°	
Indeterminada 4	EPI			X	TM	MBS s/n°	
Indeterminada 5	HER			X	TM	MBS 578	
OROBANCHACEAE							
<i>Velloziella westermanii</i> Dusén	ARB	X	X	X	T	MBS 598	
PASSIFLORACEAE							
<i>Passiflora mendoncae</i> Harms	TREP	X	X		T	AYM 193	
PENTAPHYLLACACEAE							
<i>Temstroemia brasiliensis</i> Cambess	ARV	X	X	X	X	T	MBS s/n°
PIPERACEAE							
<i>Peperomia cf. rizzinii</i> Yunker	HER	X	X		T	MBS 564	
<i>Peperomia cf. trineuroides</i> Dahlst.	HER				T	MBS 565	
<i>Peperomia corcovadensis</i> Gardner	HER	X	X		T	MBS 414	
<i>Peperomia</i> sp. 1	HER	X			T	MBS 689	
<i>Peperomia</i> sp. 2	HER	X	X		T	AYM 312	
<i>Peperomia tetraphylla</i> (G. Forst.) Hook. & Arn.	HER	X		X	T	AYM 195	
<i>Piper xylosteoides</i> (Kunth) Steud.	ARB		X		T	MBS 563	
POACEAE							
<i>Aulonemia fimbriatifolia</i> M.G.Clark	HER	X			TC	MBS 456	
<i>Chusquea anelytroides</i> Rupr. ex. Doell	HER	X	X	X	T	AYM 301	
<i>Paradiolyra micrantha</i> (Kunth) Davidse & Zuloaga	HER	X		X	T	MBS 683	
<i>Panicum</i> sp.	HER	X		X	TC	AYM 300	
<i>Panicum</i> sp.	HER	X			TC	MBS s/n°	
<i>Paspalum polyphyllum</i> Nees ex Trin.	HER			X	TM	MBS 472	
Indeterminada 1	HER		X		T	MBS 469	
Indeterminada 2	TREP		X	X	T	MBS 677	
Indeterminada 3	HER		X		T	AYM 108	
Indeterminada 4	HER			X	TM	AYM 18	
Indeterminada 5	HER			X	TM	MBS 471	
Indeterminada 6	HER			X	TM	AYM 300	
POLIGONACEAE							
<i>Coccoloba persicaria</i> L.	ARB	X		X	T	AYM 200	
PROTEACEAE							
<i>Euplassa cantareirae</i> Sleumer	ARV	X			T	MBS s/n°	

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
<i>Euplassa</i> aff. <i>nebularis</i> Rambo & Sleumer	ARV	X				TM	MBS 465
<i>Roupala rhombifolia</i> Mart. ex Meissn.	ARV	X	X	X		T	MBS 502
<i>Roupala</i> cf. <i>consimilis</i> Mez	ARV				X		MBS s/nº
RHAMNACEAE							
<i>Rhamnus sphaerosperma</i> Sw.	ARV	X	X	X	X	T	AYM 203
ROSACEAE							
<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schtdl.) Dietrich	ARV	X	X	X		T	MBS 574
RUBIACEAE							
<i>Alibertia concolor</i> (Cham.) Schum.	ARV				X	T	AYM 80
<i>Coccocypselum condalia</i> Pers.	HER	X		X	X	T	MBS 329
<i>Coccocypselum guianense</i> (Aubl.) K. Schum.	HER		X			T	MBS 294
<i>Coussarea contracta</i> Benth. & Hook.f.	ARV				X	TM	AYM 132
<i>Faramea</i> cf. <i>cyanea</i> Müll. Arg.	ARV	X	X			T	AYM 83
<i>Faramea</i> sp. 1	ARV				X	T	AYM 80
<i>Faramea</i> sp. 2	ARV				X	T	AYM 242
<i>Galium hypocarpium</i> (L.) Endl. ex Griseb ssp. <i>indecorum</i> (Cham.	HER	X	X			TC	MBS 303
<i>Manettia cordifolia</i> Wart.	TREP	X	X	X		T	AYM 29
<i>Psychotria stachyoides</i> Benth.	ARB		X		X	T	MBS 597
<i>Psychotria</i> sp. 1	ARB		X			T	AYM 82
<i>Psychotria</i> sp. 2	ARB		X		X	T	MBS 266
<i>Rudgea jasminoides</i> (Cham.) Müll. Arg	ARB	X				T	AYM 228
<i>Rudgea parquioides</i> (Cham.) Müll. Arg.	ARV	X	X	X		T	MBS 68
<i>Rudgea</i> sp.	ARB		X			T	MBS 301
Indeterminada 1	ARB		X			T	MBS 68
Indeterminada 2	ARB				X	T	MBS 446
SALICACEAE							
<i>Xylosma pseudosalzmanii</i> Sleumer	ARV	X	X			T	AYM 180
SAPINDACEAE							
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	ARV				X	TM	AYM 229
SMILACACEAE							
<i>Smilax campestris</i> Griseb.	TREP	X	X	X	X	T	MBS 450
SOLANACEAE							
<i>Brunfelsia</i> cf. <i>pilosa</i> Plowman	ARB	X				T	MBS 599
<i>Solanum megalochiton</i> Mart.	TREP				X	TM	AYM 23
<i>Solanum</i> sp. 1	ARB	X				T	MBS 695

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
STYRACACEAE							
<i>Styrax martii</i> Seub.	ARV	X		X		TM	AYM 85
SYMPLOCACEAE							
<i>Symplocos incrassata</i> Aranha	ARV	X				T	AYM 87
<i>Symplocos corymboclados</i> Brand	ARV	X	X	X	X	T	MBS 701
<i>Symplocos bidana</i> Aranha	ARV		X	X	X	T	AYM 24
THEACEAE							
<i>Gordonia fruticosa</i> (Schrad.) H.Keng	ARV	X	X	X	X	T	AYM 88
THYMELAEACEAE							
<i>Daphnopsis fasciculata</i> (Meisn.) Nevling	ARV				X	TC	AYM 235
<i>Daphnopsis sellowiana</i> Taub.	ARV	X	X	X		T	MBS 605
VALERIANACEAE							
<i>Valeriana ulei</i> Grabn.	HER	X	X	X		TC	MBS 73
VIOLACEAE							
<i>Viola cerasifolia</i> A.St.-Hill.	HER	X		X		T	AYM 237
VOCHYSIACEAE							
<i>Vochysia cf. bifalcata</i> Warm.	ARV				X	TM	AYM 246
WINTERACEAE							
<i>Drimys angustifolia</i> Miers.	ARV	X	X	X		T	AYM 236
<i>Drimys brasiliensis</i> Miers.	ARV	X	X	X	X	T	MBS 606
GIMNOSPERMAE							
PODOCARPACEAE							
<i>Podocarpus sellowii</i> Klotzsch	ARV	X	X	X	X	T	MBS 231
PTERIDOPHYTA							
ASPLENIACEAE							
<i>Asplenium oligophyllum</i> Kaulf.	EPI	X				T	AYM 345
<i>Asplenium scandicinum</i> Kaulf.	EPI		X			T	MBS 725
<i>Asplenium harpeodes</i> Kunze	EPI	X				T	MBS 726
<i>Asplenium pseudonitidum</i> Raddi	EPI	X				T	AYM 91
Indeterminada 1	HER			X		T	AYM 147
BLECHNACEAE							
<i>Blechnum cordatum</i> (Desv.) Hieron.	HER	X	X		X	T	AYM 10
DRYOPTERIDACEAE							
<i>Arachniodes cf. denticulata</i> (Sw.) Ching	EPI	X	X			T	MBS 743
<i>Pteris deflexa</i> Link	HER	X				T	MBS 732

Cont.

FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL			Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA GIG		
<i>Rumohra adiantiformis</i> (G. Forst.) Ching	HER	X	X	X	T	MBS 706
<i>Lastreopsis amplissima</i> (C. Presl) Tindale			X	X	T	AYM 306
Indeterminada 1	HER		X		T	AYM 330
CYATHECEAE						
<i>Alsophila capensis</i> J. Sm.	HER		X		T	MBS 723
<i>Cyathea corcovadensis</i> (Raddi) Domin	HER			X	TM	AYM 343
<i>Cyathea</i> sp. 1	HER		X	X	T	AYM 9
<i>Cyathea</i> sp. 2	HER	X			T	AYM 92
<i>Cyathea</i> sp. 3	HER	X			T	AYM 344
<i>Plagiogyria fialhoi</i> Copel	HER	X			T	AYM 310
GLEICHENIACEAE						
<i>Gleichenella pectinata</i> (Willd.) Ching	HER			X	TM	AYM 356
GRAMMITIDACEAE						
<i>Cochlidium punctatum</i> (Raddi) L.E. Bishop		X	X	X	T	AYM 332
<i>Lellingeria apiculata</i> (Kunze ex Klotzsch) A.R. Sm. & R.C.	EPI		X		T	MBS 711
<i>Lellingeria depressa</i> (C. Chr.) A.R. Sm. & R.C. Moran	EPI		X	X	T	AYM 338
<i>Lellingeria organensis</i> (Gardner) A.R. Sm. & R.C. Moran	EPI	X			T	MBS 715
<i>Terpsichore achilleifolia</i> (Kaulf.) A.R. Sm.	EPI	X	X	X	T	AYM 14
<i>Terpsichore reclinata</i> (Branc) Labiak	EPI	X			T	MBS 733
HYMENOPHYLLACEAE						
<i>Hymenophyllum asplenioides</i> (Sw.) Sw.	HER		X	X	T	MBS 720
<i>Hymenophyllum caudiculatum</i> Mart.	HER	X			T	MBS 719
<i>Hymenophyllum magellanicum</i> Willd.	HER	X	X		T	AYM 342
<i>Hymenophyllum polyanthos</i> (Sw.) Sw.	HER	X	X		T	MBS 718
<i>Hymenophyllum pulchellum</i> Schldl. & Cham.	HER			X	T	AYM 339
<i>Trichomanes cristatum</i> Kaulf.	HER			X	T	MBS 721
LOMARIOPSIDACEAE						
<i>Elaphoglossum ornatum</i> (Mett. ex Kuhn) H. Christ	EPI	X	X		T	AYM 336
<i>Elaphoglossum squamipes</i> (Hook.) T.Moore	EPI		X	X	T	AYM 16
LYCOPODIACEAE						
<i>Huperzia acerosa</i> (Sw.) Holub	EPI			X	TM	AYM 349
<i>Huperzia heterocarpon</i> (Fée) Holub	EPI	X	X	X	T	MBS 390
<i>Huperzia quadrifariata</i> (Bory ex Duperrey) Rothm.	EPI	X	X	X	T	MBS 703
POLYPODIACEAE						
<i>Campyloneurum cf. acrocarpon</i>	EPI			X	TM	AYM 335

Cont.

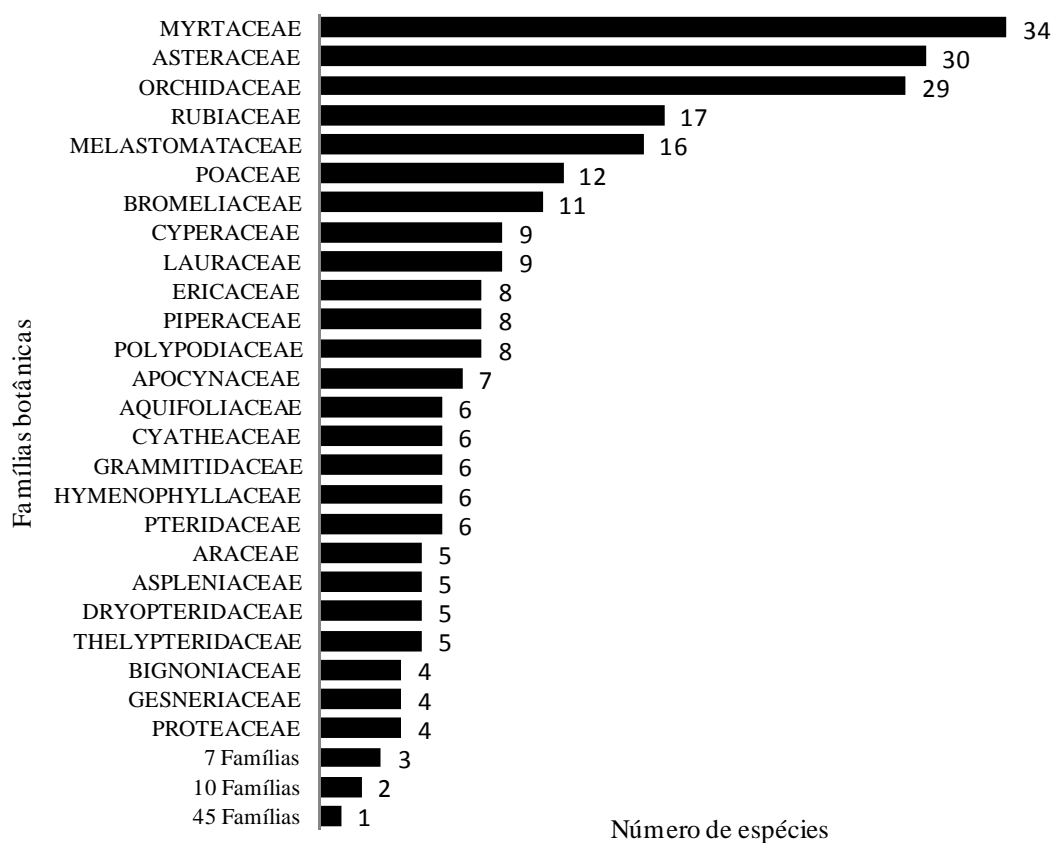
FAMÍLIA/ESPÉCIE	FORMA	LOCAL				Fitofisionomia	AMOSTRA
		IBI	IGR	PRA	GIG		
<i>Campyloneurum fallax</i> Fée	EPI	X				T	MBS 458
<i>Campyloneurum nitidum</i> (Kaulf.) C. Presl	EPI	X	X	X		T	MBS 713
<i>Pecluma sicca</i> (Lindm.) M.G. Price	EPI		X			T	MBS 711
<i>Pecluma recurvata</i> (Kaulf.) M.G. Price	EPI		X			T	MBS 740
<i>Pecluma</i> sp.	EPI			X		T	AYM 305
<i>Polypodium hirsutissimum</i> Raddi	EPI	X		X	X	T	AYM 359
<i>Serpocaulon catharinae</i> (Langsd. & Fisch.) A.R. Sm.	EPI			X	X	T	MBS 741
PTERIDACEAE							
<i>Adiantum</i> sp. 1	EPI	X				T	AYM 334
<i>Adiantum</i> sp. 2	HER				X	TM	AYM 333
<i>Histiopteris incisa</i> (Thunb.) J. Sm.	HER				X	T	AYM 17
<i>Lindsaea botrychioides</i> A. St.-Hil.	HER	X				T	MBS 702
<i>Lindsaea ovoidea</i> Fée	HER				X	T	MBS 709
<i>Pteris</i> sp.	HER					T	MBS 724
SCHIZAEACEAE							
<i>Anemia ferruginea</i> Kunth	HER	X				T	MBS 712
SELAGINELLACEAE							
<i>Selaginella macrostachya</i> (Spring) Spring	HER				X	TM	MBS 735
<i>Selaginella</i> sp. 1	HER				X	TM	AYM 354
THELYPTERIDACEAE							
<i>Thelypteris</i> sp.	HER	X	X	X	X	T	AYM 149
Indeterminada 1	HER	X				T	AYM 310
Indeterminada 2	HER			X		T	AYM 147
Indeterminada 3	HER				X	TM	AYM 343
Indeterminada 4	HER	X				T	AYM 344
TOTAL		185	165	129	154		

A família com maior riqueza específica foi Myrtaceae, com 34 espécies (10% do total), seguida por Asteraceae (30 spp.; 9%), Orchidaceae (29 spp.; 8%), Rubiaceae (17 spp.; 5%), Melastomataceae (16 spp.; 5%), Poaceae (12 spp.; 3%) e Bromeliaceae (11 spp.; 3%) (Figura 3). Esses resultados são similares aos levantados por Falkenberg (2003) para as “matinhas nebulares” dos Aparados da Serra Geral,

onde as famílias com maior número de espécies foram Asteraceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Poaceae e Solanaceae, nesta ordem.

Figura 2 - Número de espécies vasculares identificadas para cada família nas quatro serras amostradas no Paraná

Figure 2 - Number of vascular species for each family detected in the four cloud forests sampled in the present study, Southern Brazil



Os gêneros que apresentaram maior riqueza foram *Myrceugenia* (9 spp.); *Leandra*, *Mikania* e *Baccharis* (7 spp. cada) e *Ilex*, *Eugenia* e *Peperomia* (6 spp. cada). Novamente comparando os resultados com aqueles produzidos por Falkenberg (2003), *Baccharis*, *Leandra*, *Solanum*, *Eupatorium*, *Myrceugenia* e *Mikania* estão entre os

gêneros mais importantes em número de espécies nas matilhas nebulares dos Aparados da Serra Geral. Percebe-se a coincidência de 4 gêneros importantes entre as duas áreas.

Do total de espécies encontradas, 231 (67%) foram classificadas como típicas da formação (p.e. *Ilex microdonta*, *Tabebuia catarinensis* e *Myrceugenia franciscensis*), 68 (19%) como transicionais para florestas montanas (p.e. *Aspidosperma pyricollum*, *Cabralea canjarana* e *Matayba guianensis*) e 49 (14%) como transicionais para campos de altitude (p.e. *Alstroemeria amabilis*, *Hesperozigis rhododon* e *Gaylussacia brasiliensis*). Espécies florestais típicas dos patamares montanos foram encontradas nos patamares altomontanos (encontrados somente indivíduos jovens) em montanhas com menores altitudes, como na Serra Gigante. Nestas áreas, as florestas altomontanas ocupam menores extensões e distribuem-se num gradiente altitudinal mais restrito.

Nas florestas altomontanas deste estudo foram encontradas espécies novas, descritas recentemente e encontradas também em refúgios vegetacionais altomontanos descritos por Moco-chinski & Scheer (2008), tais como *Alstroemeria amabilis* (Assis 2003), *Aulonemia fimbriatifolia* (Clark 2004) e *Myrsine altomontana* (Freitas & Kinoshita 2005). Além dessas, 2 espécies de *Symplocos* descritas recentemente por Aranha *et al.* (2009) e uma espécie nova de *Hesperozigis* (Figura 2f), ainda não descrita (Tabela 3) também foram encontradas nas florestas altomontanas no presente trabalho. Esta situação reflete o pequeno esforço de pesquisa realizado nos ecossistemas altomontanos e evidencia a importância de ações para sua conservação.

Considerando a riqueza florística vascular das florestas altomontanas na Serra do Mar no Paraná apresentada neste trabalho, juntamente com o levantamento da flora vascular dos campos altomontanos realizado por Moco-chinski & Scheer (2008), estabelece-se uma aproximação da riqueza florística desses ecossistemas no Paraná. Compilando-se as listas florísticas das duas formações (florestas altomontanas e refúgios vegetacionais altomontanos), obtem-se um total de 507 espécies ocorrentes nos ecossistemas altomontanos da Serra do Mar no Paraná.

Figura 3 - a) Florestas e campos altomontanos próximos aos cumes da Serra do Ibitiraquire no Paraná; b) Incêndio ocorrido em florestas primárias na encosta do Pico Caratuva, Serra do Ibitiraquire, em outubro de 2007; c) Aspecto do dossel da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Paraná; d) Aspecto do interior de Floresta Ombrófila Densa Altomontana típica no Pico Caratuva; e) *Alstroemeria amabilis*, uma das espécies descritas recentemente, típicas dos campos altomontanos e comum na borda da floresta altomontana; f) Espécie ainda não descrita de *Hesperozigis* (Élide dos Santos, comunicação pessoal)

Figure 3.- a) Cloud Forests and grasslands near to the summits of the “Serra do Ibitiraquire” in the state of Paraná, Brazil; b) Fire in primary cloud forests on slope of Pico Caratuva, Serra do Ibitiraquire, October 2007; c) Aspect of the canopy of the studied cloud forests; d) Aspect of typical Upper Montane Cloud Forest in the Pico Caratuva; e) *Alstroemeria amabilis*, one of the species described recently, typical of the high altitude grasslands and common in the edge of cloud forests; f) Species still not described of the genus *Hesperozigis* (Élide dos Santos, personal communication)

a



b



c



d



e



f



Comparações da florística vascular das florestas amostradas

As florestas altomontanas da Serra do Ibitiraquire apresentaram maior riqueza de espécies (185), seguidas das Serras da Igreja (165), Serra Gigante (154) e Serra da Prata (129). O número de espécies arbóreas detectadas foram 66, 56, 60 e 49, respectivamente. Das espécies listadas, 35 foram comuns às quatro serras, sendo 23 arbóreas (Tabela 3).

O dendrograma da análise de agrupamento resultante da presença e ausência de espécies vasculares nas florestas altomontanas das quatro serras estudadas (Figura 4) indicou uma maior similaridade florística entre as serras da Igreja e da Prata. A Serra do Ibitiraquire ficou em posição intermediária e a Serra Gigante apresentou menor proximidade. Os índices de similaridade de Sørensen reforçam tais resultados (Tabela 4). Além de serem mais próximas entre si (aproximadamente 20 Km), as florestas altomontanas das serras da Igreja e da Prata apresentam altitudes e gradientes altitudinais similares, entre 1250 e 1480 m s.n.m.. A Serra do Ibitiraquire apresenta maior extensão e maior gradiente altitudinal, com florestas altomontanas típicas, em alguns locais ocorrendo desde os 1200 m, alcançando os 1850 m s.n.m., justificando sua maior riqueza de espécies (Tabela 3). A Serra Gigante apresenta florestas altomontanas em menores altitudes (entre 950 e 1050 m s.n.m.), patamares considerados montanos nas outras serras amostradas. A ocorrência de florestas tipicamente altomontanas em menores altitudes, em montanhas pequenas e isoladas, geralmente mais próximas ao mar e constantemente cobertas por neblina, é comumente atribuída ao efeito de elevação de massa ou “Massenerhebung effect”, fenômeno que envolve condições geográficas, geomorfológicas e climáticas, as quais tem influência na temperatura, na formação de nuvens e na insolação ultravioleta (Grubb 1971, Flenley 1995). Tais florestas estudadas no presente trabalho (Serra Gigante), apresentam uma área mais restrita e com um menor gradiente altitudinal, sofrem uma maior influência de ecossistemas montanos, justificando sua menor similaridade florística com os outros trechos amostrados.

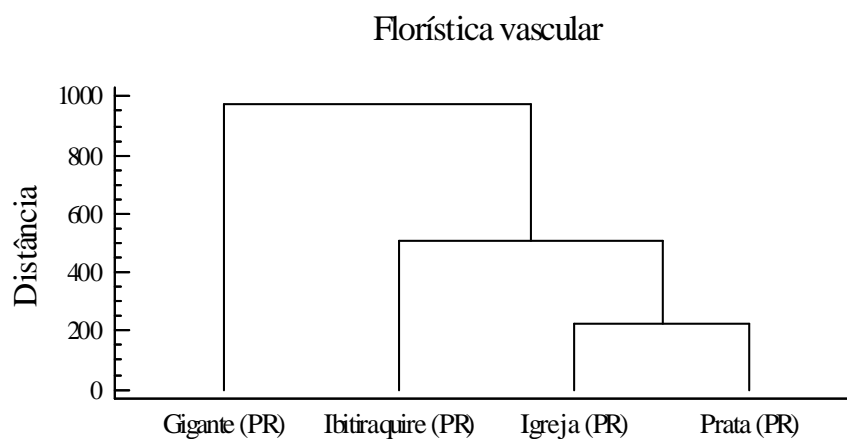
Tabela 4 - Similaridades florísticas com base no índice de Sørensen, considerando as espécies vasculares (incluindo determinações em nível de gênero e de morfotipos) das florestas altomontanas das quatro serras amostradas no Paraná

Table 4 - Vascular Floristic Sørensen similarities for four cloud forests in the state of Paraná, Southern Brazil

	Ibitiraquire (PR)	Igreja (PR)	Prata (PR)	Gigante (PR)
Ibitiraquire (PR)	-			
Igreja (PR)	0,57	-		
Prata (PR)	0,60	0,62	-	
Gigante (PR)	0,34	0,39	0,40	-

Figura 4 - Dendrograma de análise de agrupamento com base na presença e ausência de espécies vasculares nas florestas altomontanas de quatro serras amostradas no presente estudo

Figure 4 - Cluster analysis dendrogram of vascular species presence and absence in the four cloud forests sampled in the present study, Southern Brazil



Comparações com outras serras do Sul e Sudeste brasileiro

Nenhuma espécie arbórea foi comum a todas as áreas comparadas. Os índices de similaridade de Sørensen variaram de 0,04 até 0,78 (Tabela 5).

O dendrograma da análise de agrupamento resultante da presença e ausência de espécies arbóreas nas florestas altomontanas das quatro serras estudadas e outras florestas ocorrentes acima dos 1380 m de altitude na região Sul (PR e SC) e acima dos 1800 m na região Sudeste (SP, RJ e MG) do Brasil, destacou dois grupos distintos (Figura 5).

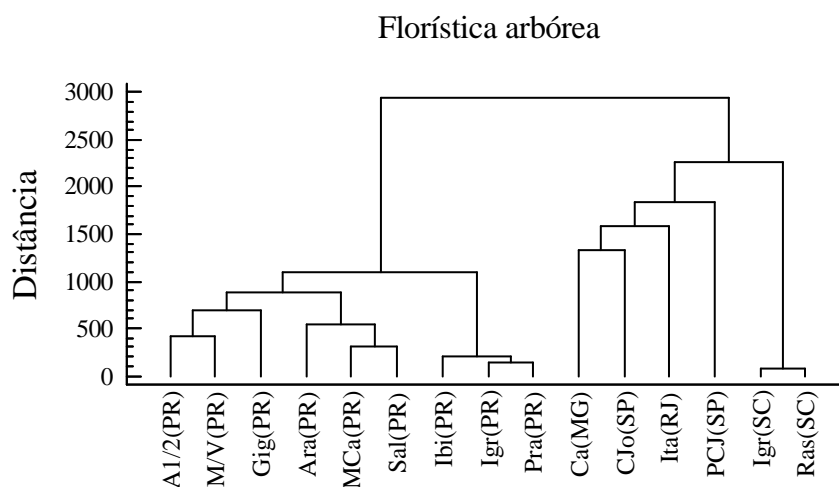
O primeiro grupo incluiu as serras amostradas no presente trabalho e também as outras serras paranaenses compiladas na Tabela 2, todas classificadas como “Floresta Ombrófila Densa Altomontana” e pertencentes ao Complexo Serra do Mar. Das serras amostradas, a Serra Gigante indicou ligeiramente maior proximidade com os trabalhos realizados em altitudes mais baixas na Serra da Baitaca (pico Anhangava) e na Serra do Marumbi (picos Marumbi e Vigia), em torno dos 1280 m s.n.m.. Nesse grupo, seis espécies arbóreas foram encontradas em todas as áreas: *Ilex microdonta*, *Drimys brasiliensis*, *Gomidesia sellowiana*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Gordonia fruticosa* e *Ocotea porosa* (considerada como *O. catharinensis* na compilação de Koehler *et al.* 2002).

O segundo grupo incluiu tanto florestas altomontanas representativas dos estados mais ao sul (SC e RS) quanto mais ao norte (SP, RJ e MG) das florestas do presente trabalho. No entanto, as duas florestas altomontanas de SC mostraram maior dissimilaridade com as outras dentro desse grupo. Os índices de similaridade de Sørensen reforçam tais resultados (Tabela 5). Isto está provavelmente ligado à grande distância entre as áreas, resultando em influências de diferentes centros de endemismo, como por exemplo o centro São Paulo/Rio de Janeiro, discutido por Thomas *et al.* (1998), que tem maior influência nas regiões costeiras dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo.

Na análise realizada, as florestas altomontanas paranaenses (1º grupo) somente apresentaram *Ilex microdonta* como espécie arbórea comum com as áreas de SC (índices de similaridade entre 0,12 e 0,29; Tabela 5). O 1º grupo apresentou somente *Drimys brasiliensis* como espécie arbórea comum em todas as áreas comparadas mais ao norte (SP, RJ e MG) (índices de similaridade entre 0,04 e 0,20; Tabela 5).

Figura 5 - Dendrograma de análise de agrupamento com base na presença e ausência de espécies arbóreas nas quatro serras amostradas no Paraná e de outras florestas ocorrentes acima dos 1380 m de altitude na região sul (PR e SC) e acima dos 1800 m na região sudeste (SP, RJ e MG) do Brasil

Figure 5 - Cluster analysis dendrogram of vascular species presence and absence in the four cloud forests sampled in the present study and for other forests occurring above 1380 m a.s.l. in Southern Brazil and above 1800 m a.s.l. in Southeastern Brazil



PR – Paraná (Serra do Mar); SC – Santa Catarina (Aparados da Serra Geral); SP – São Paulo (Serra da Mantiqueira); RJ – Rio de Janeiro (Serra da Mantiqueira); MG – Minas Gerais (Serra da Mantiqueira); A1/2 - Anhangava 1 e 2, Serra da Baitaca (Koehler *et al.* 2002), M/V – Serra do Marumbi, picos Ponta do Tigre e Vigia (Koehler *et al.* 2002), Gig – Serra Gigante (presente estudo), Ara – Serra do Araçatuba (Koehler *et al.* 2002), MCa – Pico Mãe Catira, Serra da Farinha Seca/Graciosa (Koehler *et al.* 2002), Sal – Serra do Salto (Koehler *et al.* 2002), Ibi – Serra do Ibitiraquire (presente estudo); Igr – Serra da Igreja (presente estudo); Pra – Serra da Prata (presente estudo); Ca – Camanducaia (França & Stehmann 2004); Cjo – Campos do Jordão (Pereira-Silva *et al.* 2007); Ita – Serra do Itatiaia (Brade 1956); PCJ – Parque Estadual Campos do Jordão (Robim *et al.* 1990); Igr – Morro da Igreja (Falkenberg 2003); Ras – Serra do Rio do Rastro (Falkenberg 2003)

Uma possível explicação para a diferenciação dos dois grupos é que a maior parte dos trabalhos em São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina indicou uma forte ocorrência de elementos da Floresta Ombrófila Mista, tais como *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., o que não ocorre nas áreas altomontanas estudadas do Paraná (Floresta Ombrófila Densa Altomontana). Neste estado, tais espécies somente ocorrem no ecótono Floresta Ombrófila Densa/Mista, situado no patamar montano da face oeste da Serra do Mar, em contato com o planalto. Historicamente, *Araucaria angustifolia* tem seu ponto mais setentrional (formação disjunta) na serra do Caparaó (Complexo da Serra da Mantiqueira), próximo à fronteira de Minas Gerais e do Espírito Santo, local alcançado em períodos climáticos favoráveis do Quaternário (Leite 2002). A presença desses elementos na região provavelmente deve-se ao relevo, aos solos, às menores temperaturas resultantes da altitude, e a menor influência das massas de ar e umidade oceânicas, mais comuns na face oriental da Serra do Mar (Oliveira-Filho & Fontes 2000). Além disso, as florestas consideradas nos outros trabalhos foram descritas como secundárias e/ou alteradas por pastagens e/ou queimadas, incluindo citações de espécies comuns nas fases iniciais e intermediárias de sucessão secundária e em patamares montanos (por exemplo: *Alchornea glandulosa*, *Croton urucurana*, *Piptocarpha angustifolia*, *Mimosa scabrella* e *Myrsine coriacea*).

Outros fatores que determinam diferenças para tais florestas são as formações geológicas e geomorfológicas diferentes das serras descritas no Paraná (Tabela 1). Por exemplo, a formação basáltica das serras do Rio do Rastro e da Igreja em Santa Catarina, (Falkenberg 2003), apresenta feições geomorfológicas diferentes das originárias das formações predominantemente graníticas da Serra do Mar paranaense. Tais condições resultaram em solos com diferentes profundidades e com características físico-químicas diferentes, que obviamente interferem na estrutura e composição da floresta. As florestas sobre Latossolos em Camanducaia, em Minas Gerais (França & Stehmann 2004), apresentam em média, 17 m de altura, diferindo das demais florestas analisadas neste trabalho (alturas entre 3 e 7 m) e concordando com a descrição de florestas altomontanas de Veloso *et al.* (1991).

Portanto, ainda existem poucas informações para melhor definir e comparar as florestas altomontanas brasileiras, nas suas diferentes formações fitogeográficas: Florestas Ombrófilas Densas (Amazônica e Atlântica), Ombrófila Mista e Estacionais. Para se obter melhores parâmetros sobre riqueza, distribuição de espécies e endemismo, são necessários trabalhos que priorizem a florística vascular de florestas altomontanas primárias e bem conservadas. Novos conhecimentos dessas formações e de suas funções, principalmente àquelas vinculadas à sua importância hidrológica, devem ser apresentados à sociedade e subsidiar melhor, medidas para sua conservação, manejo e restauração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. & De CARNEIRO, C.D. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. Rev. Bras. Geocienc. 28(2):135-150.

Angiosperm Phylogeny Group - APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Bot. J. Linn. Soc. 141(4):399-436.

ARANHA-FILHO, J.L.M., ALMEDA, FRITSCH, P.W., ALMEDA, F.& MARTINS, A.B. 2009. Two new dioecious species of *Symplocos* (Symplocaceae) from Southern Brazil. Novon 19(1):1-6.

ASSIS, M.C. 2003. Duas novas espécies de *Alstroemeria* L. (Alstroemeriaceae) para o Brasil. Acta Bot. Bras. 17(2):179-182.

BIGARELLA, J.J. 1978. A Serra do Mar e a porção oriental do estado do Paraná, um problema de segurança ambiental e nacional (contribuição à geografia, geologia e ecologia regional). SEP; ADEA. Curitiba.

BÒLOS, O., CERVI, A.C. & HATSCHBACH, G. 1991. Estudios sobre la vegetación del Paraná (Brasil Meridional). *Collect. Bot.* 20:79-182.

BRADE, A.C. 1956. A flora do Parque Nacional de Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia* 5:7-85.

BROWER, J.E. & ZAR, J.H. 1984. *Field and laboratory methods for general ecology.* W.M.C. Brow, Dubuque.

BRUIJNZEEL, L.A. & PROCTOR, J. 1995. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? In *Tropical montane cloud forests* (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.38-78.

BRUIJNZEEL, L.A. 2000. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. In *Proceedings of the Second International Colloquium* (J.S. Gladwell, ed.). UNESCO, Paris, p.353-383.

CLARK, L.G. 2004. New species of *Aulonemia* and *Chusquea* (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae) from southeastern Brazil. *Rev. Brasil. Bot.* 27(1):31-36.

DOUMENGE, C., GILMOUR, D., PEREZ, M.R. & BLOCKHUS, J. 1995. Tropical montane cloud forests: conservation status and management issues. In *Tropical montane cloud forests* (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.24-37.

DUSÉN, P. 1955. Contribuições para a flora do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia.* Serviço Florestal, Rio de Janeiro.

FALKENBERG, D.B. & VOLTOLINI, J.C. 1995. The montane cloud forest in southern Brazil. In *Tropical montane cloud forests* (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.138-149.

FALKENBERG, D.B. 2003. Matinhas nebulares e vegetação rupícola dos Aparados da Serra Geral (SC/RS), sul do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Campinas.

FLENLEY, J.R. 1995. Cloud Forest, the Massenerhebung effect, and ultraviolet insolation. In Tropical montane cloud forests (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.150-155.

FONTES, M.A.L. 1997. Análise da composição florística das florestas nebulares do Parque estadual do Ibitipoca, Minas gerais, Brasil. Lavras. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FRANÇA G.S. & STEHMANN, J.R. 2004. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de uma floresta altimontana no município de Camanducaia, Minas Gerais, Brasil. Rev. Brasil. Bot. 27(1):19-30.

FREITAS, M.F. & KINOSHITA, L.S. 2005. Novas espécies de *Myrsine* L. (Myrsinaceae) para o Brasil. Rodriguesia 56(87):67-72.

GRUBB, P.J. 1971. Interpretation of the “Massenerhebung” effect on tropical mountains. Nature 229(5279):44-45.

HAMILTON, L.S., JUVIK, J.O. & SCATENA, F.N. 1995. The Puerto Rico tropical cloud forest symposium: introduction and workshop synthesis. In Tropical montane cloud forests (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.1-23.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 1992. Manual técnico da vegetação brasileira. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Depto. de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro. Manuais Técnicos de Geociências, n° 1.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2004. Mapa da vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/vegetacao.pdf>. (último acesso em 19/03/2009).

KLEIN, R.M. 1980. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. *Sellowia* 31-32:9-389.

KOEHLER, A. 2001. Floresta ombrófila densa altomontana: aspectos florísticos e estruturais do componente arbóreo em diferentes trechos da serra do mar, PR. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KOEHLER, A., GALVÃO, F. & LONGHI, S.J. 2002. Floresta Ombrófila Densa Altomontana: aspectos florísticos e estruturais de diferentes trechos da serra do mar. *Ci. Fl.* 12(2):27-39.

LEITE, P.F. 2002. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. *Cienc. Ambient.* 24(1):51-73.

MAACK, R. 2002. Geografia física do Estado do Paraná. Imprensa Oficial, Curitiba.

MEIRA NETO, J.A., BERNACCI, L.C., GROMBONE, M.T., TAMASHIRO, J.Y. & LEITÃO-FILHO, H.F. 1989. Composição florística da floresta semidecídua de altitude no Parque Municipal da grota Funda (Atibaia, estado de São Paulo). *Acta. Bot. Bras.* 3:51-74.

MOCOCHINSKI, A.Y. & SCHEER, M.B. 2008. Campos de altitude na serra do mar paranaense: aspectos florísticos. *Revista Floresta* 38(4):625-640.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. & FONTES, M.A.L. 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica* 32(4b):793-810.

OLIVEIRA FILHO, A.T., CARVALHO, D.A., FONTES, M.A.L., BERG, E.V.D., CURI, N. & CARVALHO, W.A.C. 2004. Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada dos Perdizes, Carrancas, MG. *Rev. Brasil. Bot.* 27(2):291-309.

PEREIRA-SILVA, E.F.L., HARDT, E., FRANCISCO, C.E.S. 2007. Caracterização florística da vegetação lenhosa de um fragmento urbano de Floresta Ombrófila Mista Alto Montana, Campos do Jordão, SP. *Holos Environment* 7(2):154-170.

PETEAN, M.P. 2002. Epífitas vasculares em floresta altomontana, parque estadual pico do Marumbi, Morretes, PR. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PORTES, M.C.G.O., GALVÃO, F. & KOEHLER, A. 2001. Caracterização florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana do morro Anhangava, Quatro Barras, PR. *Revista Floresta* 31(1 e 2):22-31.

Programa de Proteção da Floresta Atlântica - PRÓ-ATLÂNTICA. 2002. Projeto Carta Geológica. Cartas: MI-2844-2 Ariri, MI-2843-1 Represa do Capivari, MI-2843-3 Morretes, MI-2858-1 Mundo Novo e MI-2858-3 Pedra Branca do Araraquara. Escala 1:50000. SEMA, Curitiba.

ROBIM, M.J., PASTORE, J.A., AGUIAR, O.T. & BAITELLO, B. 1990. Flora arbóreo arbustiva e herbácea do Parque Estadual de Campos do Jordão (SP). *Rev. Inst. Flor.* 2:31-53.

ROCHA, M.R.L. 1999. Caracterização fitossociológica e pedológica de uma floresta ombrófila densa no parque estadual do pico do Marumbi – Morretes, PR. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RODERJAN, C.V. 1994. A floresta ombrófila densa altomontana no morro Anhangava, Quatro Barras, PR: aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RODERJAN, C.V. & GRODSKI, L. 1999. Acompanhamento meteorológico em um ambiente de Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro Anhangava, Mun. De Quatro Barras – PR, no ano de 1993. *Cadernos da Biodiversidade* 2(1):27-34.

RODERJAN, C.V., GALVÃO, F., KUNIYOSHI, Y.S. & HATSCHBACH, G.G. 2002. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. *Cienc. Ambient.* 24(1):75-92.

STADTMÜLLER, T. 1987. *Cloud Forests in the humid tropics: a bibliographic review.* The United Nations University; Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza, Tokyo; Turrialba.

THOMAS, W.W., CARVALHO, A.M.V., AMORIM, A.M.A., GARRISON, J. & ARBELÁEZ, A.L. 1998. Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brasil. *Biodiv. Conserv.* 7:311-322.

TRYON, R.M. & TRYON, A.F. 1982. *Ferns and allied plants.* Springer Verlag, New York.

VALENTIN, J.L. 2000. *Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos.* Interciência, Rio de Janeiro.

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

VITOUSEK, P.M. 1998. Introduction: the structure and functioning of Montane Tropical Forests: Control by climate, soils and disturbance, special feature. *Ecology* 79(1):1-2.

CAPÍTULO II

ESTRUTURA ARBÓREA DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE ALMONTANA DE QUATRO SERRAS NO PARANÁ

TREE COMPONENT STRUCTURE OF FOUR TROPICAL UPPER MONTANE RAIN FORESTS IN SOUTHERN BRAZIL

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de consolidar informações sobre a estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana da Serra do Mar paranaense, comparando-a com a das florestas altomontanas de outras serras do Sul e Sudeste do Brasil. Foram realizados levantamentos fitossociológicos em diversas montanhas de quatro importantes serras (ou subserras) no Paraná, com diferenças marcantes em altitude, extensão e amplitude altitudinal da formação, em posição geográfica, continentalidade etc. Nas quatro subserras foram amostrados 2294 indivíduos (PAP \geq 10 cm) pertencentes a 28 famílias, 43 gêneros e 78 espécies. Foi observada maior riqueza de espécies na amostragem na Serra Gigante (41 espécies), seguida pelas serras da Prata (37), da Igreja (34) e do Ibitiraquire (26). A altura média dos indivíduos foi de 4,8 m, o PAP médio de 22,9 cm, a densidade média de 4779 ind/ha, a área basal média de 33,5 m²/ha e o índice de diversidade de Shannon total de 2,68 nats/ind. Agrupando as demais subserras paranaenses, totalizando 11 levantamentos e 204 parcelas (10200 m²), obteve-se uma matriz com 75 espécies determinadas, onde as cinco com maior porcentagem de importância estrutural foram *Ilex microdonta*, *Siphoneugena reitzii*, *Drimys angustifolia*, *Ocotea porosa* e *Ilex chamaedrifolia*. Considerando o critério de inclusão de PAP \geq 15,7 cm (adotado nos estudos fora do Paraná), as serras paranaenses indicaram menores alturas, PAPs e áreas basais, porém densidades similares. Os trechos amostrados na Serra do Mar no Paraná, apresentaram menor riqueza que os da Serra da Mantiqueira (Minas Gerais) e maior que os dos Aparados da Serra Geral (Santa Catarina).

Palavras-chave: Floresta nebulosa tropical/subtropical, Floresta Atlântica, Serra do Mar, Floresta alti-montana, Fitossociologia

ABSTRACT

The aims of this study were: (1) to consolidate information about the tree structure of the Upper Montane Rain Forest of “Serra do Mar” in the state of Paraná (PR), Southern Brazil, and (2) to compare this information with available data from other mountain ranges in Southern and Southeastern Brazil. In the four mountain ranges studied, 2294 tree individuals (perimeter at breast height - PBH \geq 10 cm) were sampled, including 28 families, 43 genus and 78 species. The cloud forest sampled in Serra Gigante showed the highest richness (41 species) of all cloud forests studied in Paraná, followed by Serra da Prata (37), Serra da Igreja (34) and Serra do Ibitiraquire (26). The mean tree height was 4.8 m, the PBH was 22.9 cm, the tree abundance was 4779 in/ha, the basal area was 33,5 m²/ha and the Shannon diversity index was 2,68 nats/ind. Combining the data of the present study with the published surveys of the “Serra do Mar” region, totalizing 11 surveys and 204 plots (10.200 m²), a matrix with 75 identified species was obtained. In this matrix, the five more important species from the phytosociological point of view were *Ilex microdonta*, *Siphoneugena reitzii*, *Drimys angustifolia*, *Ocotea porosa* and *Ilex chamaedrifolia*. When including the PBH \geq 15 cm from other studies, the mountain ranges of Paraná showed comparatively low heights, PBHs and basal areas, but similar tree abundances. The cloud forests sampled in “Serra do Mar” showed lower richness than the cloud forests in Serra da Mantiqueira (Southeast) and higher richness than cloud forests in Aparados da Serra Geral (South).

Keywords: Tropical/Subtropical Upper Montane Cloud/Dwarf Forest, Atlantic Rain Forest, Sea Mountain Range, Phytosociology.

INTRODUÇÃO

As florestas que ocupam as porções mais elevadas das montanhas apresentam composição florística e estrutura diferentes das florestas ocorrentes nos patamares mais baixos (Beard 1944/1955, Leigh 1975, Bruijnzeel 2000, Bruijnzeel & Hamilton 2000). À medida que as florestas se aproximam dos topos de cumeeiras altomontanas, constituem apenas um único estrato vertical, composto por árvores de porte reduzido, com galhos tortuosos com folhas pequenas e coriáceas e densamente cobertos por epífitas, principalmente avasculares (Leigh 1975, Doumenge *et al.* 1995, Hamilton *et al.* 1995). Mesmas as árvores com maior comprimento de tronco são inclinadas no sentido das vertentes de forma a não superar o dossel único e compacto (Koehler *et al.* 2002). Além das feições geomórficas e dos solos, a ação dos ventos, a diminuição de temperaturas e a presença persistente ou frequente de nuvens contribuem para menores taxas de decomposição, de absorção de nutrientes e de produtividade primária (Leigh 1975).

Inúmeras funcionalidades e serviços ambientais/ecossistêmicos decorrentes das florestas altomontanas têm sido frequentemente expostas na literatura já há algum tempo (Stadmuller 1987, Bruijnzeel & Proctor 1995, Hamilton *et al.* 1995, Bruijnzeel 2000, Becker *et al.* 2006, Martínez *et al.* 2009), principalmente àqueles relacionados à proteção de encostas (Becker *et al.* 2006), ao aporte adicional de água pela interceptação das nuvens nas cabeceiras de bacias hidrográficas (Hamilton *et al.* 1995, Bruijnzeel & Proctor 1995), ao estoque de significativas quantidades de carbono e água (Bolstad e Vose 2005, Martínez *et al.* 2009), à sua biodiversidade, por abrigar um grande número de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, devido ao desmatamento de ecossistemas de menores altitudes (Hamilton *et al.* 1995, Becker *et al.* 2006, Bruijnzeel 2000), à capacidade de servir como referência para o monitoramento de mudanças climáticas no ecótono com ecossistemas adjacentes a montante (Becker *et al.* 2006), ao controle biológico, à polinização, à produção de alimentos, à recreação, entre outros (Martínez *et al.* 2009). Porém, estudos em florestas altomontanas ainda são escassos (Hamilton *et al.* 1995, Bruijnzeel & Proctor

1995, Bruijnzeel 2000). Informações sobre quais seres vivos habitam esses ambientes, como eles ocupam o espaço e se regeneram, como eles interagem entre si e com o meio físico e qual é sua relevância na “prestação de serviços ambientais/ecossistêmicos” ainda não estão bem consolidadas para que repercutam cientificamente dando suporte às autoridades governamentais e à toda a sociedade para o desenvolvimento de ações significativas de proteção e de restauração de tais ambientes.

A grande extensão geográfica do Brasil aliada à diversidade de condições climáticas, geológicas e geomorfológicas, permite que as florestas altomontanas ocorram em regiões fitogeográficas distintas (florestas Estacionais Deciduais e Semideciduais, Ombrófilas Mistas e Densas etc.). Dentro de cada ambiente tais formações também podem se diferenciar pela exposição das encostas, formas, comprimentos e declividades de rampas, profundidades e classes de solos, áreas transicionais, distâncias em relação ao oceano, gradientes altitudinais, extensão de serras etc. Informações consistentes relacionando tais variáveis para o melhor entendimento do funcionamento desses ecossistemas ainda são escassas.

No Paraná, alguns trabalhos descreveram trechos da Floresta Ombrófila Densa Altomontana - FODAM, todos na Serra do Mar (Roderjan 1994, Rocha 1999, Portes *et al.* 2001, Koehler *et al.* 2002, Scheer & Mocoichinski 2009). Florestas ombrófilas altomontanas em Santa Catarina foram descritas por Falkenberg & Voltolini (1995) e por Falkenberg (2003). Para florestas ombrófilas altomontanas na região Sudeste do Brasil, foram publicados os trabalhos de França & Stehmann (2004) e Meireles *et al.* (2008). Abordando as florestas consideradas altomontanas, mas com características montanas na mesma região, foi realizado o trabalho de Carvalho *et al.* (2005), e para formação de Floresta Estacional Semidecidual o trabalho de Oliveira-Filho *et al.* (2004).

Dando continuidade aos estudos sobre ambientes altomontanos no Paraná, realizados por Mocoichinski & Scheer (2008) e por Scheer & Mocoichinski (2009), o presente trabalho teve o objetivo principal de consolidar as informações sobre a estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana da Serra do Mar

paranaense e compará-la com as florestas altomontanas de outras serras do Sul e Sudeste do Brasil. Foram realizados levantamentos fitossociológicos em diversas montanhas de quatro importantes subserras no Paraná: Serra do Ibitiraquire, Serra da Igreja, Serra da Prata e Serra Gigante. Os dados obtidos em campo foram juntados aos dados de mais sete levantamentos realizados em cinco outras subserras da Serra do Mar, disponíveis na literatura, e comparados com dados disponíveis para florestas altomontanas dos Aparados da Serra Geral (SC) e da Serra da Mantiqueira (MG). Com os dados analisados, foi possível indicar: (1) os valores para os principais parâmetros estruturais da floresta altomontana da Serra do Mar paranaense; (2) quais espécies são mais abundantes, dominantes e frequentes; (3) se, com o aumento altitudinal dentro do patamar altomontano, há uma diminuição na diversidade de espécies com participação significativa na estrutura da floresta; (4) quais espécies são comuns à maioria das áreas altomontanas, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil e; (5) quais florestas apresentam maiores similaridades em função dos valores de importância das espécies que as compõem.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de estudo

No Paraná, a Floresta Ombrófila Densa cobre a maior extensão das montanhas da Serra do Mar, atingindo, em sua formação altomontana, as porções mais elevadas das encostas, acima de 1.800 m s.n.m. Em alguns trechos, a oeste, ocorre o ecótono entre esta e a Floresta Ombrófila Mista Montana, em aproximadamente 1.100 m s.n.m., com ocorrência de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Já nas porções mais elevadas das montanhas, passam a ocorrer os campos altomontanos.

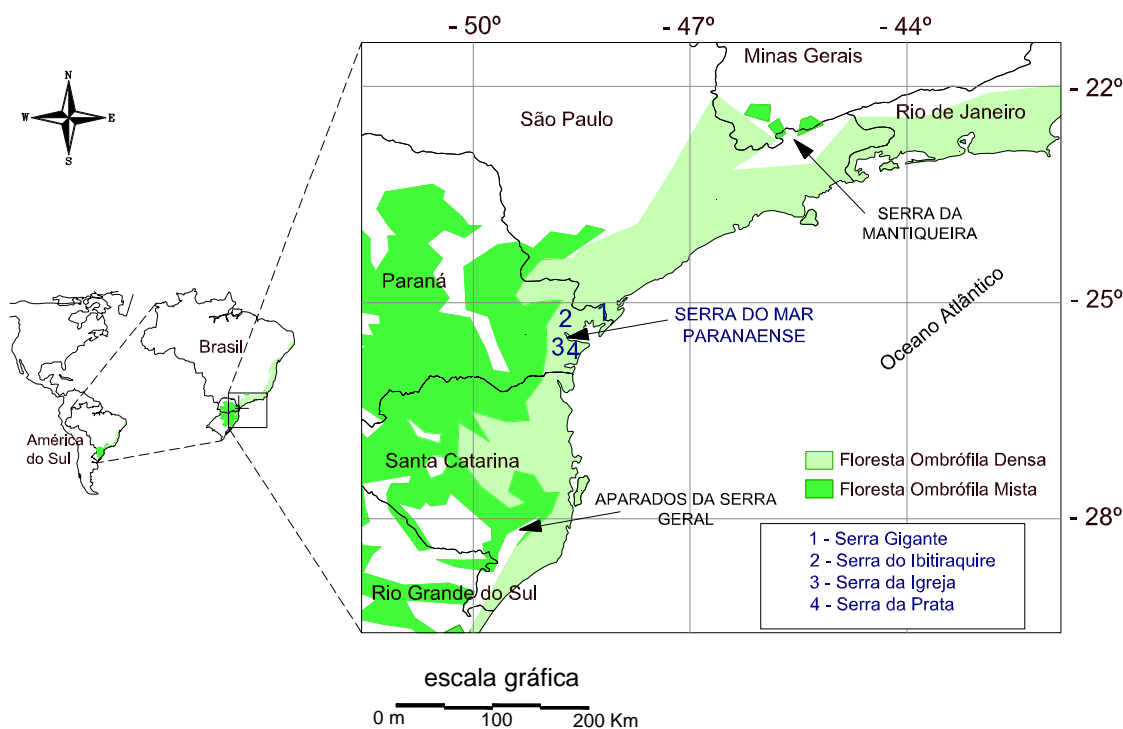
O clima das florestas altomontanas da Serra do Mar paranaense é classificado como Cfb, segundo Köppen, sendo sub-tropical, sempre úmido e com a temperatura

média do mês mais frio abaixo de 18 °C e superior a - 3 °C e a média do mês mais quente inferior a 22 °C (Roderjan 1994). Roderjan & Grodski (1999) observaram temperatura mínima absoluta de - 5 °C, média anual de 13,4 °C e máxima absoluta de 30 °C para patamares altomontanos a 1.385 m s.n.m., em ambiente florestal, no Morro do Anhangava, no município de Quatro Barras, Paraná. As precipitações na Serra do Mar são bem distribuídas ao longo do ano e apresentam grande variação em função da topografia local. Medições na região litorânea ultrapassam 2000 mm anuais e nas encostas da serra os valores chegam a 3500 mm (Maack 2002).

Foram amostradas quatro subserras pertencentes ao Complexo Serra do Mar no Paraná, entre as coordenadas 26°00' S e 49°30' W, e 25°00' S e 48°00' W, denominadas regionalmente de: Serra do Ibitiraquire, Serra da Igreja, Serra da Prata e Serra Gigante (Figura 1, Anexo 2). A escolha das áreas de estudo levou em consideração a representatividade da área de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Paraná e a inclusão de diferenças marcantes em altitude (entre 950 e 1850 m) e amplitude altitudinal, em extensão, em posição geográfica e continentalidade dessa formação (ver detalhes em Scheer & Mochinski 2009). Os solos analisados em formações semelhantes são extremamente ácidos, com altos teores de matéria orgânica, baixa saturação por bases e altos teores de alumínio trocável, sendo predominantemente Neossolos Litólicos, Organossolos e Gleissolos Melânicos, podendo ocorrer Cambissolos Húmicos e Argissolos Vermelho-Amarelos (Roderjan *et al.* 2002, Rocha 1999).

Figura 1 - Localização das áreas de estudo no estado do Paraná. Adaptado de Scheer & Mocoichinski (2009)

Figure 1 - Location of the studied areas in the state of Paraná, Southern Brazil. Adapted from Scheer & Mocoichinski (2009)



Levantamentos fitossociológicos e análises dos dados

Para a amostragem da vegetação arbórea altomontana em cada subserra, foram instaladas aleatoriamente, ao longo de trilhas de acesso aos picos das montanhas, 24 parcelas retangulares com 50 m² (5 x 10 m), nas quais todos os indivíduos arbóreos com perímetro à altura do peito (PAP) \geq 10 cm, foram identificados e mensurados quanto ao PAP e altura total. A determinação das espécies foi realizada com o uso de chaves de identificação, comparação com material de herbários e confirmações com especialistas. Os procedimentos de identificação e os nomes completos das espécies, incluindo seus autores e famílias botânicas, podem ser encontrados em Scheer & Mocoichinski (2009) e na Figura 6 deste trabalho. O material

vegetal determinado foi incorporado ao acervo do Museu Botânico Municipal de Curitiba (MBM) e as duplicatas doadas ao Herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná (UPCB) e ao Herbário da Escola de Florestas de Curitiba (EFC).

Conforme a descrição de Scheer & Moco-chinski (2009), as amostragens foram efetuadas apenas em trechos de florestas com características primárias e bem conservadas, com aspectos estruturais e fisionômicos tipicamente altomontanos, tais como: presença de apenas um estrato arbóreo, com porte reduzido (3 a 7 m de altura) e com troncos com muitas ramificações tortuosas, densamente cobertas por epífitas avasculares.

Os parâmetros estruturais densidade, frequência, dominância e porcentagem de importância das espécies arbóreas de cada trecho amostrado foram calculados de acordo com Mueller-Dombois & Ellenberg (1974). As distribuições diamétricas e hipsométricas das árvores de cada serra amostrada foram inseridas em classes. Foram calculados índices de diversidade de Shannon (H') e de Equabilidade de Pielou (J'), conforme Magurran (1988). Os valores de H' foram comparados por testes de t de Hutcheson (Zar 1996).

Análises de regressão linear foram realizadas no programa Statgraphics Plus 4.1 para verificar se o número de espécies por parcela diminui com o aumento de altitude, considerando as unidades amostrais (parcelas) das quatro serras e considerando somente as parcelas da Serra do Ibitiraquire. Tal serra foi selecionada para essa análise devido à amostragem em um maior gradiente altitudinal, de 1500 a 1780 m s.n.m.

Para observar possíveis mudanças de espécies na composição estrutural de florestas altomontanas em diferentes condições, na Serra da Prata foi possível aproveitar a disposição dos trechos amostrados para uma estratificação pelas exposições leste e oeste. Na Serra do Ibitiraquire foi possível estratificar parcelas com exposição norte e sul, bem como as posições superiores e inferiores das encostas dentro das porções altomontanas.

Para elencar as espécies mais importantes da estrutura arbórea altomontana da Serra do Mar no Paraná, os dados do presente trabalho foram agrupados aos dados de mais sete levantamentos fitossociológicos realizados em cinco outras subserras através dos dados publicados por Roderjan (1994), Rocha (1999), Portes *et al.* (2001), Koehler *et al.* (2002), totalizando 11 levantamentos e 204 parcelas de 50 m² (10200 m² de área amostrada).

Foram feitas análises de agrupamentos (Cluster) entre os dados das serras estudadas e outras florestas brasileiras descritas como altomontanas nos Aparados da Serra Geral em Santa Catarina (Falkenberg 2003) e na Serra da Mantiqueira (França & Stehmann 2004, Meireles *et al.* 2008) em Minas Gerais, envolvendo os valores de importância relativos das espécies ocorrentes. Para essas análises, foram consideradas somente determinações ao nível de espécie (165 espécies). O agrupamento foi realizado no programa Statgraphics Plus 4.1, pelo método de Ward (variância mínima), com a utilização da distância euclidiana quadrática como medida métrica.

RESULTADOS

Estrutura horizontal da FODAM na Serra da Prata

Foram amostrados 424 indivíduos arbóreos de 37 espécies, pertencentes a 16 gêneros e a 17 famílias botânicas (Tabela 1). Myrtaceae apresentou 17 espécies pertencentes a oito gêneros. Esta família contribui com 50% da população arbórea, somando aproximadamente 42% da importância fitossociológica. Aquifoliaceae, Winteraceae e Symplocaceae apresentaram duas espécies cada. As famílias restantes foram representadas apenas com uma espécie cada. *Drimys angustifolia* (Winteraceae) apresentou a maior importância devido primordialmente ao maior porte de seus indivíduos (valor máximo de 28 cm de DAP, com 6,8 m de altura).

Seguindo a ordem de porcentagem de importância, *M. seriatoramosa* e *S. reitzii*, ambas da família Myrtaceae, foram as espécies que se destacaram

respectivamente pela maior frequência e maior densidade de indivíduos acima do PAP estabelecido. *I. microdonta*, espécie que segundo Roderjan (1994) e Koehler *et al.* (2002) tipifica a floresta altomontana na Serra do Mar no Paraná, ficou em quarto lugar em importância estrutural, apresentando grande dominância em relação a sua densidade, indicando também um porte relativamente grande de seus indivíduos (valor máximo de 23 cm de DAP, com 6 m de altura). As seis espécies mais importantes somam 53% da porcentagem de importância (Tabela 1). A altura média da comunidade arbórea foi estimada em 4,7 metros e o DAP médio foi de 7,8 cm. Foi encontrada uma densidade arbórea de 3533 ind/ha e uma área basal de 29,4 m²/ha. Na face leste da Serra da Prata, localizada próxima ao litoral, foram amostrados indivíduos de *Blepharocalyx salicifolius* e *Gomidesia sellowiana*, espécies que, segundo Koehler *et al.* (2002), são facilmente encontradas na Floresta Ombrófila Mista, descartando-se a possibilidade exposta por esses autores da sua não ocorrência em montanhas na situação de menor continentalidade.

Ao avaliar valores estruturais da estratificação dos trechos amostrados pelas exposições leste e oeste, as espécies *Coccoloba persicaria*, *Eugenia eurysepala*, *Tibouchina reitzii*, *Thelypteris* sp. e *Prunus brasiliensis* não foram amostradas na face leste e *Plinia cordifolia*, *Myrceugenia* sp., *Persea pyrifolia*, *Myrceugenia pilotantha*, *B. salicifolius*, *Eugenia* sp., *G. sellowiana*, *Drimys brasiliensis* e Myrtaceae indeterminada 1 não foram amostradas na face oeste. *M. seriatoramosa* apresentou o maior PI na face leste, enquanto que *S. reitzii* ficou com o oitavo maior VI. A posição na análise fitossociológica entre essas duas espécies se inverteu avaliando a face oeste.

Tabela 1 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas (PAP \geq 10 cm) dos trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana amostrados na Serra da Prata, município de Paranaguá, PR. Legenda: DA – densidade absoluta (ind/ha); DR – densidade relativa (%); DoA – dominância absoluta (m²/ha); DoR – dominância relativa (%); FA – frequência absoluta; FR – frequência relativa (%); PI – porcentagem de importância (%)

Table 1 - Phytosociological parameters for the tree species (PBH \geq 10 cm) occurring on upper montane rain forest sampled in Serra da Prata, state of Paraná, Southern Brazil. DA – absolute density (ind/ha); DR – relative density (%); DoA – absolute dominance (m²/ha); DoR – relative dominance (%); FA – absolute frequency (%); FR – relative frequency (%); PI – importance percentage (%)

Espécie	<i>Cont.</i>						
	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
<i>Drimys angustifolia</i>	250,0	7,1	5,72	19,42	58,3	6,0	10,8
<i>Myrceugenia seriatoramosa</i>	408,3	11,6	3,58	12,15	79,2	8,1	10,6
<i>Siphoneugena reitzii</i>	458,3	13,0	1,62	5,50	75,0	7,7	8,7
<i>Ilex microdonta</i>	166,7	4,7	3,65	12,39	62,5	6,4	7,8
<i>Ocotea porosa</i>	216,7	6,1	2,79	9,49	70,8	7,2	7,6
<i>Ilex chamaedrifolia</i>	241,7	6,8	2,12	7,19	70,8	7,2	7,1
<i>Myrcia breviramis</i>	358,3	10,1	1,17	3,99	54,2	5,5	6,6
<i>Citronella paniculata</i>	283,3	8,0	1,13	3,83	62,5	6,4	6,1
<i>Eugenia neomyrtifolia</i>	166,7	4,7	0,94	3,20	58,3	6,0	4,6
<i>Tabebuia catarinensis</i>	133,3	3,8	0,62	2,09	66,7	6,8	4,2
<i>Coccoloba persicaria</i>	100,0	2,8	0,75	2,56	37,5	3,8	3,1
<i>Symplocos corymboclados</i>	75,0	2,1	0,82	2,78	25,0	2,6	2,5
<i>Eugenia eurysepala</i>	58,3	1,7	0,89	3,02	20,8	2,1	2,3
<i>Symplocos bidana</i>	41,7	1,2	0,80	2,70	20,8	2,1	2,0
<i>Myrcia richardiana</i>	75,0	2,1	0,26	0,87	29,2	3,0	2,0
<i>Myrceugenia franciscensis</i>	66,7	1,9	0,15	0,51	25,0	2,6	1,7
<i>Weinmannia humilis</i>	83,3	2,4	0,35	1,20	4,2	0,4	1,3
<i>Ternstroemia brasiliensis</i>	41,7	1,2	0,16	0,55	20,8	2,1	1,3
<i>Eugenia sclerocalyx</i>	41,7	1,2	0,19	0,66	16,7	1,7	1,2
<i>Tibouchina reitzii</i>	25,0	0,7	0,29	1,00	12,5	1,3	1,0
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>	16,7	0,5	0,45	1,52	8,3	0,9	1,0
<i>Plinia cordifolia</i>	33,3	0,9	0,08	0,28	12,5	1,3	0,8
<i>Roupala rhombifolia</i>	25,0	0,7	0,11	0,39	12,5	1,3	0,8
<i>Rudgea parquioides</i>	25,0	0,7	0,06	0,22	12,5	1,3	0,7
<i>Myrceugenia</i> sp.	33,3	0,9	0,06	0,19	8,3	0,9	0,7

							<i>Cont.</i>
Espécie	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
<i>Myrsine altomontana</i>	16,7	0,5	0,04	0,14	8,3	0,9	0,5
<i>Thelypteris</i> sp. (feto arborescente)	8,3	0,2	0,17	0,56	4,2	0,4	0,4
<i>Persea pyrifolia</i>	8,3	0,2	0,16	0,54	4,2	0,4	0,4
<i>Myrceugenia pilotantha</i>	8,3	0,2	0,10	0,35	4,2	0,4	0,3
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	8,3	0,2	0,05	0,17	4,2	0,4	0,3
<i>Eugenia handroana</i>	8,3	0,2	0,05	0,17	4,2	0,4	0,3
<i>Prunus brasiliensis</i>	8,3	0,2	0,03	0,11	4,2	0,4	0,3
<i>Drimys brasiliensis</i>	8,3	0,2	0,03	0,09	4,2	0,4	0,3
<i>Gomidesia sellowianna</i>	8,3	0,2	0,02	0,05	4,2	0,4	0,2
<i>Myrceugenia euosma</i>	8,3	0,2	0,01	0,05	4,2	0,4	0,2
<i>Maytenus glaucescens</i>	8,3	0,2	0,01	0,04	4,2	0,4	0,2
MYRTACEAE indet. 1	8,3	0,2	0,01	0,04	4,2	0,4	0,2
TOTAL	3533,3	100,0	29,44	100,00	979,2	100,0	100,0

Estrutura horizontal da FODAM na Serra do Ibitiraquire

Foram amostradas encostas de quatro montanhas na Serra do Ibitiraquire: Itapiroca, Caratuva, Taipabuçu e Ferraria. Entraram na amostragem 552 indivíduos arbóreos pertencentes a 26 espécies, a 19 gêneros e a 15 famílias botânicas (Tabela 2). A família Myrtaceae foi representada por nove espécies pertencentes a quatro gêneros, somando 46% da densidade arbórea, contribuindo com aproximadamente 38% da importância fitossociológica. As famílias Aquifoliaceae, Symplocaceae e Lauraceae apresentaram duas espécies cada. As famílias restantes foram representadas apenas com uma espécie cada. As quatro espécies mais importantes foram as mesmas que as da Serra da Prata, porém na ordem inversa. *I. microdonta* apresentou a maior importância devido aos altos valores de densidade, dominância e frequência. Na seqüência de porcentagem de importância, *S. reitzii* foi a espécie com maior densidade de indivíduos e *M. seriatoramosa* foi a única freqüente em todas as unidades amostrais. Ao contrário da Serra da Prata, *D. angustifolia* teve o quarto maior VI,

invertendo a posição de mais importante estruturalmente com *I. microdonta*, indicando também um porte relativamente maior de seus indivíduos (indivíduos alcançando 27 cm de DAP, com 7,2 m de altura). As quatro espécies mais importantes somam 57% do VI. A altura média da comunidade arbórea foi estimada em 4,3 m e o DAP médio foi de 8,2 cm. A densidade arbórea foi de 4600 ind/ha, com uma área basal de 40,3 m²/ha (Tabela 2).

Estratificando os trechos amostrados pelas exposições norte e sul, as espécies *B. salicifolius*, *Myrceugenia franciscensis* e *Xylosma pseudosalzmanii* não foram amostradas nos trechos nas montanhas com exposição norte, enquanto que *Clethra uleana*, *Persea pyrifolia*, *Myrceugenia* sp., *Daphnopsis sellowiana* e *Symphyopappus lymanismithii* não foram detectadas pela amostragem nos trechos das montanhas com exposição sul.

Comparando os trechos em posição superior da encosta com os em posição inferior, pode-se notar a não ocorrência de *Weinmannia humilis*, *Symplocos incrassata*, *Myrceugenia* sp. e *Persea pyrifolia* na posição inferior da encosta. *Maytenus urbaniana*, *Myrceugenia franciscensis*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Daphnopsis sellowiana*, *Symphyopappus lymanismithii* e *Xylosma pseudosalzmanii* não entraram na amostragem dos trechos superiores das encostas.

Os valores de densidade e área basal pouco se alteraram na análise com a estratificação dos trechos, indicando que para a estrutura arbórea, a geomorfologia e, conseqüentemente, os solos devem exercer maior influência neste contexto.

Tabela 2 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas (PAP \geq 10 cm) dos trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana amostrados na Serra do Ibitiraquire, município de Campina Grande do Sul, PR. Legenda: DA – densidade absoluta (ind/ha); DR – densidade relativa (%); DoA – dominância absoluta (m²/ha); DoR – dominância relativa (%); FA – frequência absoluta; FR – frequência relativa (%); PI – porcentagem de importância (%)

Table 2 - Phytosociological parameters for the tree species (PBH \geq 10 cm) occurring on upper montane rain forest sampled in Serra do Ibitiraquire, state of Paraná, Southern Brazil. DA – absolute density (ind/ha); DR – relative density (%); DoA – absolute dominance (m²/ha); DoR – relative dominance (%); FA – absolute frequency (%); FR – relative frequency (%); PI – importance percentage (%)

							<i>Cont.</i>
Espécie	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
<i>Ilex microdonta</i>	766,7	16,7	9,09	22,57	95,8	11,4	16,9
<i>Siphoneugena reitzii</i>	950,0	20,7	6,33	15,71	91,7	11,0	15,8
<i>Myrceugenia seriatoramosa</i>	766,7	16,7	5,05	12,53	100,0	11,9	13,7
<i>Drimys angustifolia</i>	333,3	7,3	7,63	18,94	58,3	7,0	11,1
<i>Symplocos corymboclados</i>	225,0	4,9	3,34	8,29	58,3	7,0	6,7
<i>Ocotea porosa</i>	250,0	5,4	2,44	6,05	66,7	8,0	6,5
<i>Ilex chamaedrifolia</i>	208,3	4,5	1,42	3,52	50,0	6,0	4,7
<i>Tabebuia catarinensis</i>	266,7	5,8	0,70	1,74	37,5	4,5	4,0
<i>Citronella paniculata</i>	116,7	2,5	0,53	1,32	50,0	6,0	3,3
<i>Eugenia neomyrtifolia</i>	175,0	3,8	0,42	1,04	41,7	5,0	3,3
<i>Roupala rhombifolia</i>	83,3	1,8	0,68	1,69	25,0	3,0	2,2
<i>Myrceugenia ovata</i>	50,0	1,1	0,30	0,75	20,8	2,5	1,4
<i>Weinmannia humilis</i>	41,7	0,9	0,55	1,37	16,7	2,0	1,4
<i>Symplocos incrassata</i>	66,7	1,5	0,53	1,33	12,5	1,5	1,4
<i>Eugenia handroana</i>	66,7	1,5	0,13	0,32	20,8	2,5	1,4
<i>Clethra uleana</i>	33,3	0,7	0,20	0,48	16,7	2,0	1,1
<i>Eugenia sclerocalyx</i>	25,0	0,5	0,13	0,31	12,5	1,5	0,8
<i>Myrsine altomontana</i>	33,3	0,7	0,04	0,10	12,5	1,5	0,8
<i>Maytenus urbaniana</i>	25,0	0,5	0,19	0,48	8,3	1,0	0,7
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	25,0	0,5	0,14	0,36	8,3	1,0	0,6
<i>Myrceugenia</i> sp.	25,0	0,5	0,06	0,14	8,3	1,0	0,6
<i>Persea pyrifolia</i>	25,0	0,5	0,21	0,51	4,2	0,5	0,5
<i>Myrceugenia franciscensis</i>	16,7	0,4	0,04	0,10	8,3	1,0	0,5
<i>Daphnopsis sellowiana</i>	8,3	0,2	0,10	0,24	4,2	0,5	0,3
<i>Symphopappus lymansmithii</i>	8,3	0,2	0,02	0,05	4,2	0,5	0,2

Espécie	Cont.						
	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
<i>Xylosma pseudosalzmanii</i>	8,3	0,2	0,02	0,05	4,2	0,5	0,2
TOTAL	4600,0	100,0	40,29	100,00	837,5	100,0	100,0

Estrutura horizontal da FODAM na Serra da Igreja

Foram amostrados 587 indivíduos arbóreos, pertencentes a 34 espécies, 25 gêneros e 19 famílias. Foi observado que as cinco espécies mais importantes perfazem mais da metade da porcentagem de importância da comunidade, somando 58,3% (Tabela 3). A família Myrtaceae foi a mais bem representada, com 11 espécies e seis gêneros (33,6% da população arbórea e 30% de VI), seguida de Lauraceae, com quatro espécies. Aquifoliaceae, Cunoniaceae e Winteraceae apresentaram duas espécies cada e as demais famílias apenas uma espécie cada. *S. reitzii* apresentou a maior densidade e a segunda maior dominância da comunidade, sendo apontada como espécie mais importante, em termos de porcentagem de importância, apesar da diferença para *D. angustifolia* ser muito pequena. Essa espécie apesar de uma densidade consideravelmente menor, é representada por indivíduos de maior porte (valor máximo de 73 cm de DAP, com 6,1 m de altura), resultando em um alto valor de dominância. *I. microdonta* novamente está entre as principais espécies da comunidade altomontana.

Já a presença de *Tabebuia catarinensis* e *Citronella paniculata* entre as cinco principais espécies não havia sido registrada em nenhuma outra área deste estudo.

A altura média da comunidade arbórea foi estimada em 5,1 metros e o DAP médio foi de 7,0 cm. A densidade arbórea foi de 4696 ind/ha e a área basal foi de 30,5 m²/ha.

Tabela 3 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas (PAP \geq 10 cm) dos trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana amostrados na Serra da Igreja, município de Morretes, PR. Legenda: DA – densidade absoluta (ind/ha); DR – densidade relativa (%); DoA – dominância absoluta (m²/ha); DoR – dominância relativa (%); FA – frequência absoluta; FR – frequência relativa (%); PI – porcentagem de importância (%)

Table 3 - Phytosociological parameters for the tree species (PBH \geq 10 cm) occurring on upper montane rain forest sampled in Serra da Igreja, state of Paraná, Southern Brazil. DA – absolute density (ind/ha); DR – relative density (%); DoA – absolute dominance (m²/ha); DoR – relative dominance (%); FA – absolute frequency (%); FR – relative frequency (%); PI – importance percentage (%)

Espécie	<i>Cont.</i>						
	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
<i>Siphoneugena reitzii</i>	944,0	20,1	4,80	15,74	92,0	9,5	15,1
<i>Drimys angustifolia</i>	600,0	12,8	6,83	22,38	92,0	9,5	14,9
<i>Ilex microdonta</i>	432,0	9,2	4,31	14,11	76,0	7,8	10,4
<i>Tabebuia catarinensis</i>	536,0	11,4	2,35	7,69	84,0	8,6	9,3
<i>Citronella paniculata</i>	544,0	11,6	1,67	5,47	88,0	9,1	8,7
<i>Weinmannia humilis</i>	296,0	6,3	2,54	8,32	80,0	8,2	7,6
<i>Myrceugenia franciscensis</i>	240,0	5,1	1,56	5,10	60,0	6,2	5,5
<i>Myrcia breviramis</i>	184,0	3,9	0,58	1,91	56,0	5,8	3,9
<i>Ilex chamaedrifolia</i>	136,0	2,9	1,07	3,51	44,0	4,5	3,6
<i>Tibouchina reitzii</i>	144,0	3,1	1,04	3,41	32,0	3,3	3,3
<i>Ternstroemia brasiliensis</i>	128,0	2,7	0,33	1,07	40,0	4,1	2,6
<i>Ocotea porosa</i>	64,0	1,4	1,03	3,37	24,0	2,5	2,4
<i>Myrceugenia seriatoramosa</i>	56,0	1,2	0,31	0,99	28,0	2,9	1,7
<i>Podocarpus sellowii</i>	56,0	1,2	0,19	0,62	28,0	2,9	1,6
<i>Drimys brasiliensis</i>	48,0	1,0	0,29	0,96	20,0	2,1	1,4
<i>Gomidesia sellowiana</i>	40,0	0,9	0,16	0,52	16,0	1,7	1,0
MYRTACEAE indet. 1	48,0	1,0	0,14	0,45	12,0	1,2	0,9
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>	32,0	0,7	0,08	0,27	16,0	1,7	0,9
<i>Ocotea vaccinioides</i>	16,0	0,3	0,24	0,79	8,0	0,8	0,7
<i>Symphyopappus lymansmithii</i>	24,0	0,5	0,05	0,15	12,0	1,2	0,6
<i>Ocotea pulchella</i>	8,0	0,2	0,34	1,11	4,0	0,4	0,6

Espécie	Cont.						
	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
<i>Myrcia richardiana</i>	16,0	0,3	0,07	0,24	8,0	0,8	0,5
<i>Agarista niederleinii</i>	16,0	0,3	0,05	0,16	8,0	0,8	0,4
<i>Weinmannia paullinifolia</i>	8,0	0,2	0,10	0,34	4,0	0,4	0,3
<i>Myrsine cf. umbellata</i>	8,0	0,2	0,07	0,21	4,0	0,4	0,3
<i>Eugenia sp.</i>	8,0	0,2	0,06	0,19	4,0	0,4	0,3
Indeterminada 1	8,0	0,2	0,05	0,18	4,0	0,4	0,3
<i>Persea sp.</i>	8,0	0,2	0,04	0,15	4,0	0,4	0,2
<i>Symplocos corymboclados</i>	8,0	0,2	0,04	0,14	4,0	0,4	0,2
MYRTACEAE indet. 2	8,0	0,2	0,04	0,13	4,0	0,4	0,2
<i>Xylosma pseudosalzmanii</i>	8,0	0,2	0,04	0,12	4,0	0,4	0,2
Indeterminada 1	8,0	0,2	0,03	0,10	4,0	0,4	0,2
<i>Rhamnus sphaerosperma</i>	8,0	0,2	0,03	0,09	4,0	0,4	0,2
<i>Daphnopsis cf. sellowiana</i>	8,0	0,2	0,01	0,03	4,0	0,4	0,2
TOTAL	4696,0	100,0	30,52	100,00	972,0	100,0	100,0

Estrutura horizontal da FODAM na Serra Gigante

Na Serra Gigante foram mensurados 786 indivíduos, pertencentes a 41 espécies, 27 gêneros e 18 famílias (Tabela 4). As quatro espécies mais importantes somaram 51,6% da porcentagem de importância da comunidade. Novamente a família Myrtaceae apresentou o maior número de espécies (11), com seis gêneros, perfazendo 57,6% da população arbórea e 53,5% da porcentagem de importância. A família Aquifoliaceae apresentou quatro espécies, Asteraceae e Lauraceae três espécies, Myrsinaceae duas espécies e demais famílias com uma espécie cada. *Myrcia breviramis* apresentou o maior porcentagem de importância devido à sua maior densidade e dominância (valor máximo de 81,4 cm de PAP, com 7 m de altura). As espécies *Myrcia dicrophylla*, *Ouratea vaccinioides*, *Ternstroemia brasiliensis* e *Ilex*

integerrima apresentaram grande participação na estrutura da comunidade, fato ainda não observado em outras montanhas.

A altura média da comunidade arbórea foi estimada em 5,0 metros e o DAP médio foi de 6,0 cm. A densidade arbórea foi de 6288 ind/ha e a área basal foi de 29,6 m²/ha.

O número maior de espécies encontradas na floresta altomontana na Serra Gigante pode ser consequência da sua menor altitude, uma vez que se observa a inclusão de espécies de ocorrência mais comum nas florestas montanas (*I. integerrima*, *Ilex taubertiana*, *Ouratea vaccinioides*, *Coussarea contracta*, *Weinmannia paullinifolia*, entre outras).

Tabela 4 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas (PAP ≥ 10 cm) dos trechos de Floresta Ombrófila Densa Altomontana amostrados na Serra Gigante, município de Guaraqueçaba, PR. Legenda: DA – densidade absoluta (ind/ha); DR – densidade relativa (%); DoA – dominância absoluta (m²/ha); DoR – dominância relativa (%); FA – frequência absoluta; FR – frequência relativa (%); PI – porcentagem de importância (%)

Table 4 - Phytosociological parameters for the tree species (PBH ≥ 10 cm) occurring on upper montane rain forest sampled in Serra Gigante, state of Paraná, Southern Brazil. DA – absolute density (ind/ha); DR – relative density (%); DoA – absolute dominance (m²/ha); DoR – relative dominance (%); FA – absolute frequency (%); FR – relative frequency (%); PI – importance percentage (%)

Espécie	Cont.						
	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
<i>Myrcia breviramis</i>	1472,0	23,4	9,82	33,13	96,0	8,8	21,6
<i>Siphoneugena reitzii</i>	1024,0	16,3	5,57	18,80	96,0	8,8	14,6
<i>Ouratea vaccinioides</i>	720,0	11,5	1,78	6,00	96,0	8,8	8,8
<i>Myrcia dicrophylla</i>	528,0	8,4	1,26	4,27	80,0	7,3	6,7
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>	360,0	5,7	1,53	5,17	68,0	6,2	5,7
<i>Ternstroemia brasiliensis</i>	336,0	5,3	0,88	2,98	68,0	6,2	4,9
<i>Ocotea porosa</i>	296,0	4,7	1,04	3,50	68,0	6,2	4,8
<i>Ocotea vaccinioides</i>	232,0	3,7	1,30	4,40	60,0	5,5	4,5
<i>Ilex integerrima</i>	184,0	2,9	1,68	5,67	44,0	4,0	4,2
<i>Podocarpus sellowii</i>	128,0	2,0	0,93	3,13	40,0	3,7	2,9
<i>Ilex chamaedrifolia</i>	152,0	2,4	0,41	1,40	48,0	4,4	2,7
<i>Citronella paniculata</i>	88,0	1,4	0,22	0,74	40,0	3,7	1,9

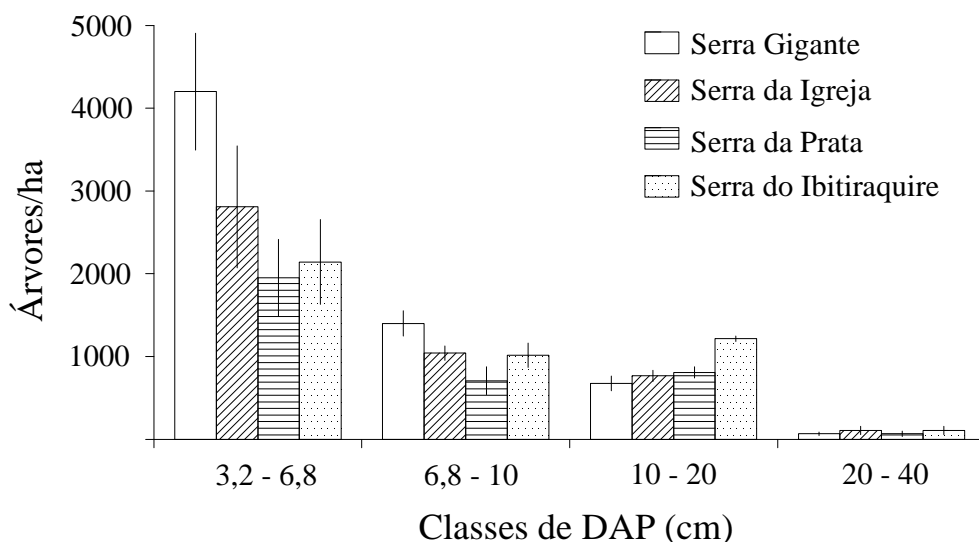
							<i>Cont.</i>
Espécie	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	PI
<i>Clethra scabra</i>	88,0	1,4	0,51	1,71	28,0	2,6	1,9
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	64,0	1,0	0,40	1,36	32,0	2,9	1,8
<i>Drimys brasiliensis</i>	88,0	1,4	0,26	0,89	32,0	2,9	1,7
<i>Eugenia cf. oeidocarpa</i>	64,0	1,0	0,15	0,50	28,0	2,6	1,4
<i>Ilex taubertiana</i>	56,0	0,9	0,21	0,72	16,0	1,5	1,0
<i>Inga barbata</i>	56,0	0,9	0,09	0,30	20,0	1,8	1,0
<i>Eugenia handroana</i>	64,0	1,0	0,28	0,93	8,0	0,7	0,9
<i>Ilex microdonta</i>	16,0	0,3	0,27	0,91	8,0	0,7	0,6
<i>Myrsine altomontana</i>	24,0	0,4	0,10	0,35	12,0	1,1	0,6
<i>Tabebuia catarinensis</i>	40,0	0,6	0,11	0,36	8,0	0,7	0,6
<i>Coussarea contracta</i>	16,0	0,3	0,05	0,18	8,0	0,7	0,4
<i>Symplocos corymboclados</i>	16,0	0,3	0,02	0,07	8,0	0,7	0,4
Indeterminada 1	16,0	0,3	0,13	0,43	4,0	0,4	0,4
<i>Weinmannia paullinifolia</i>	16,0	0,3	0,02	0,06	8,0	0,7	0,4
<i>Piptocarpa densifolia</i>	8,0	0,1	0,13	0,44	4,0	0,4	0,3
<i>Persea alba</i>	8,0	0,1	0,09	0,31	4,0	0,4	0,3
Indeterminada 2	8,0	0,1	0,08	0,26	4,0	0,4	0,3
<i>Myrsine umbelata</i>	16,0	0,3	0,04	0,12	4,0	0,4	0,3
<i>Eugenia melanogyna</i>	16,0	0,3	0,02	0,07	4,0	0,4	0,2
<i>Gordonia fruticosa</i>	8,0	0,1	0,05	0,17	4,0	0,4	0,2
<i>Eugenia eurysepala</i>	16,0	0,3	0,01	0,02	4,0	0,4	0,2
<i>Myrceugenia euosma</i>	8,0	0,1	0,04	0,14	4,0	0,4	0,2
MYRTACEAE indet. 1	8,0	0,1	0,03	0,09	4,0	0,4	0,2
<i>Daphnopsis fasciculata</i>	8,0	0,1	0,01	0,05	4,0	0,4	0,2
<i>Symplocos</i> sp.	8,0	0,1	0,01	0,04	4,0	0,4	0,2
ASTERACEAE indet. 1	8,0	0,1	0,01	0,03	4,0	0,4	0,2
<i>Agarista</i> sp.	8,0	0,1	0,01	0,03	4,0	0,4	0,2
<i>Matayba guianensis</i>	8,0	0,1	0,01	0,02	4,0	0,4	0,2
Indeterminada 3	8,0	0,1	0,01	0,02	4,0	0,4	0,2
TOTAL	6288,0	100,0	29,63	100,00	1092,0	100,0	100,0

Distribuições diamétricas e hipsométricas das florestas estudadas

A distribuição de classes diamétricas apresentada pela Figura 4 mostra uma típica distribuição de “J invertido”, com a maioria dos indivíduos concentrada na primeira classe (3,2 a 6,8 cm de DAP). Nessa primeira classe, a maior quantidade de indivíduos foi observada na serra de menor altitude (Gigante).

Figura 4 - Distribuição diamétrica dos indivíduos arbóreos nas florestas altomontanas amostradas em quatro serras no Paraná. As linhas verticais representam os desvios padrões. DAP – diâmetro à altura do peito

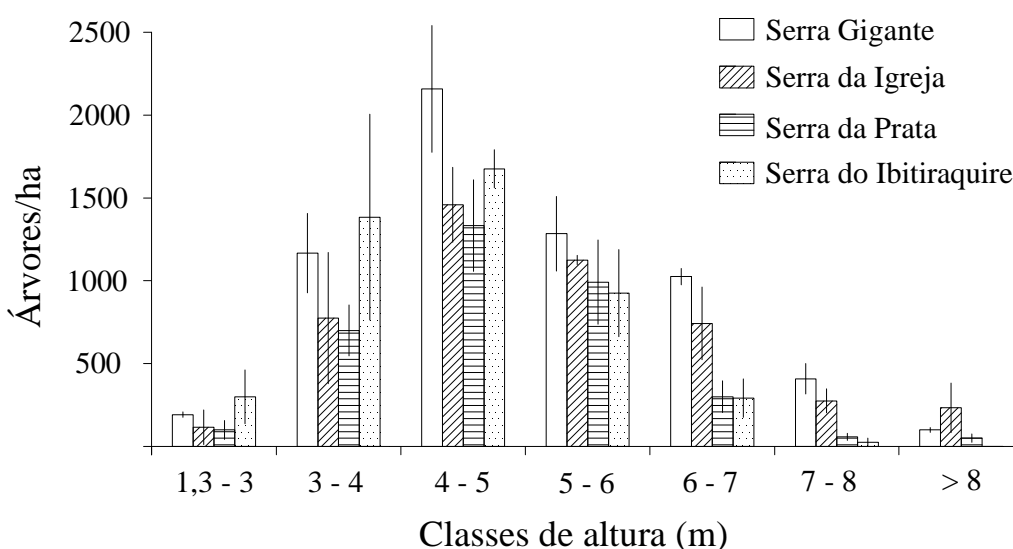
Figure 4 - Diametric distribution of trees sampled on upper montane rain forests of four mountain ranges in Southern Brazil. The vertical lines are the standard deviations. DAP – diameter at breast height



A distribuição por classes de altura dos indivíduos arbóreos (Figura 5) revela que as comunidades altomontanas estudadas são baixas, com a maioria das árvores entre 4 e 5 m, com pouquíssimos indivíduos alcançando 8 m de altura.

Figura 5 - Distribuição hipsométrica dos indivíduos arbóreos nas florestas altomontanas amostradas em quatro serras no Paraná. As linhas verticais representam os desvios padrões

Figure 5 - Hypsometric distribution of trees sampled on upper montane rain forests of four mountain ranges in Southern Brazil. The vertical lines are the standard deviations



Florística, estrutura e diversidade arbórea das serras amostradas no presente trabalho

Nas 96 parcelas (4800 m²) foram amostrados 2294 indivíduos arbóreos (PAP ≥ 10 cm) pertencentes a 28 famílias, 43 gêneros e 78 morfotipos, sendo 58 determinações ao nível de espécie (Figura 2). A altura média dos indivíduos foi de 4,8 m, o diâmetro à altura do peito - DAP de 7,3 cm (PAP de 22,9 cm), a densidade de 4779 ind/ha e a área basal de 33,5 m²/ha. A amostragem na Serra Gigante apresentou maior riqueza de espécies (41), seguida das serras da Prata (37), da Igreja (34) e do Ibitiraquire (26). Apesar de fracas a moderadas, foram observadas relações lineares negativas significativas entre o número de espécies por parcela e a altitude ($Y = 14,9332 - 0,0395415 \times \text{Alt}$, $R^2 = 0,19$; $P < 0,01$) considerando as parcelas das quatro serras e quando foram consideradas só as parcelas na Serra do Ibitiraquire, ($Y = 27,1086 - 0,0113362 \times \text{Alt}$, $R^2 = 0,30$; $P < 0,01$).

Os índices de diversidade de Shannon (H') e de equabilidade de Pielou (J') foram de 2,96 nats.ind.⁻¹ e 0,82 para a Serra da Prata, de 2,62 nats.ind.⁻¹ e 0,74 para a Serra da Igreja, de 2,63 nats.ind.⁻¹ e 0,71 para a Serra Gigante e de 2,5 nats.ind.⁻¹ 0,77 para a Serra do Ibitiraquire. O índice de diversidade de Shannon foi significativamente maior na Serra da Prata do que nas Serras da Igreja e Gigante (t de Hutcheson, $P < 0,05$), sendo que estas apresentaram índices significativamente maiores que a Serra do Ibitiraquire (t de Hutcheson, $p < 0,05$).

A Figura 2 e as Tabelas 1 a 4 apresentam as espécies da comunidade arbórea altomontana amostradas em cada serra, de acordo com a porcentagem de importância estrutural, onde destaca-se *Siphoneugena reitzii*, que em todas as áreas esteve entre as três mais importantes (em média 14% da porcentagem de importância - VI). *Drimys angustifolia* e *Ilex microdonta* aparecem entre as quatro mais importantes em três áreas (em média 9% do VI), exceto na Serra Gigante.

Na Figura 2, *Myrcia breviramis* aparece como a quarta espécie mais importante (8% do VI) devido a sua grande dominância e abundância na Serra Gigante (serra de menor altitude, Tabela 4). *Myrceugenia seriatoramosa* foi elencada como a quinta espécie mais importante (6% do VI), com grande participação nas serras de maior altitude. Apenas sete espécies foram amostradas em todas as quatro serras: *S. reitzii*, *I. microdonta*, *Ocotea porosa*, *Citronella paniculata*, *Ilex chamaedrifolia*, *Tabebuia catarinensis* e *Symplocos corymboclados*.

O dendrograma em função da porcentagem de importância destacou um grupo com as serras do Ibitiraquire, Prata e da Igreja e isolou a Serra Gigante (Figura 3).

Figura 2 - Espécies ordenadas pelas porcentagens de importância estruturais nas florestas altomontanas amostradas em quatro serras no Paraná

Figure 2 - Classification of the main tree species by structural importance percentage sampled on upper montane rain forests of four mountain ranges in Southern Brazil

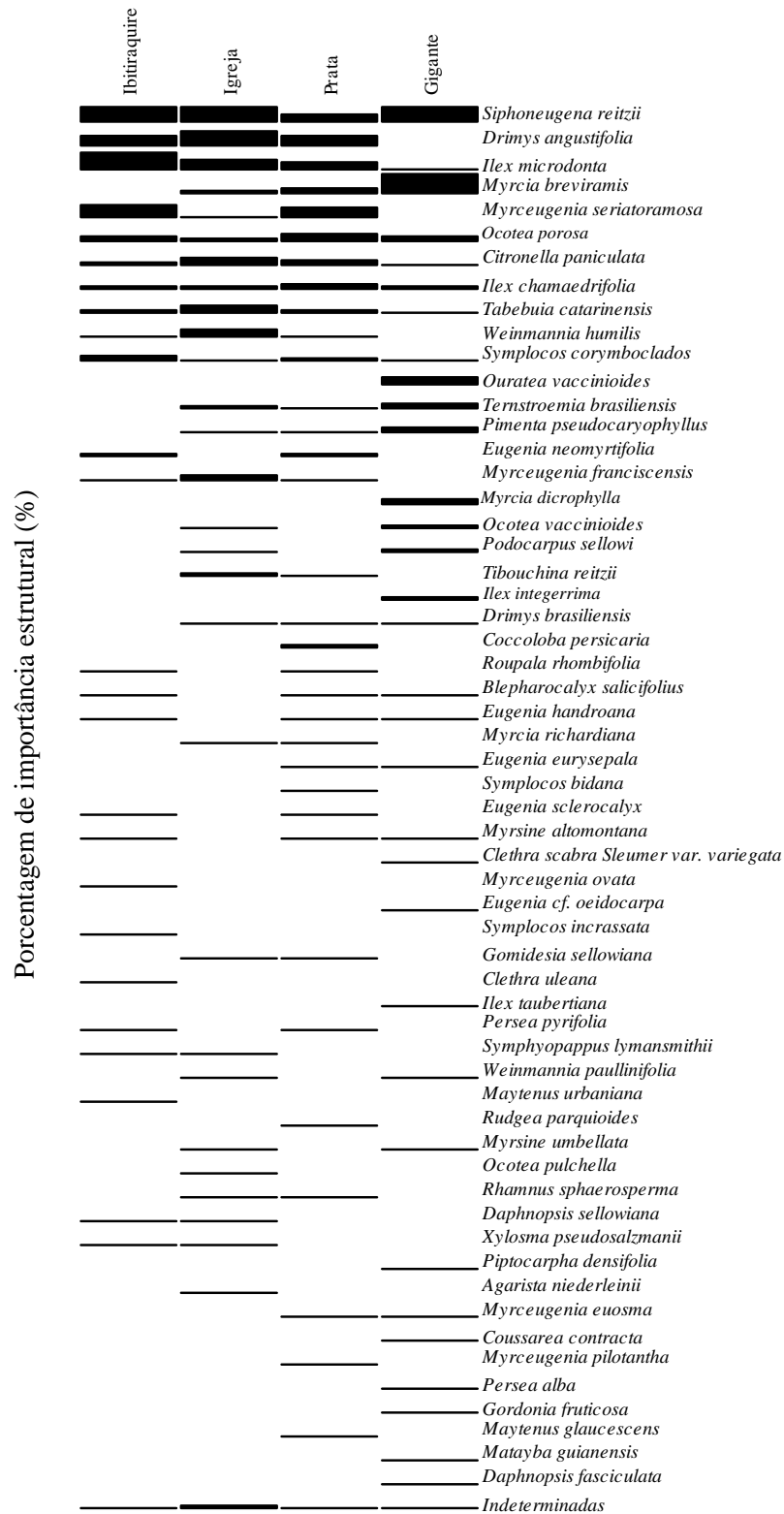
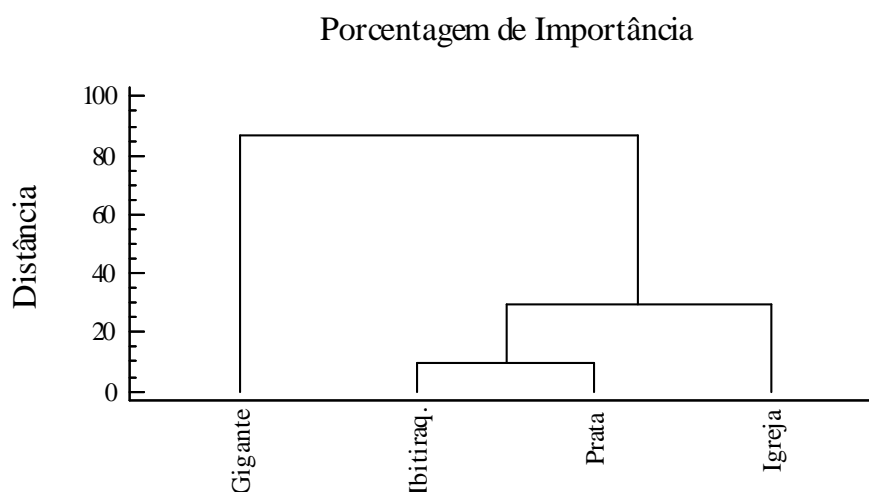


Figura 3 - Dendrograma com base nos valores de importância das espécies amostradas nas florestas altomontanas em quatro serras no Paraná

Figure 3 - Dendrogram showing groups by importance value of species sampled on upper montane rain forests of four mountain ranges in Southern Brazil



Florística, estrutura e diversidade arbórea da Serra do Mar paranaense

Considerando-se as demais subserras paranaenses, através dos dados publicados por Roderjan (1994), Rocha (1999), Portes *et al.* (2001) e Koehler *et al.* (2002), totalizando 11 levantamentos, 9 serras e 204 parcelas de 50 m² (10200 m²), obteve-se uma matriz com 109 morfotipos, sendo 75 diferentes determinações em nível de espécie, pertencentes a 30 famílias botânicas (Figura 6). As cinco espécies com maior importância na estrutura das florestas altomontanas da Serra do Mar paranaense são: *I. microdonta* (PI = 18,1% do total), *S. reitzii* (PI = 9,6%), *D. angustifolia* (PI = 7,8%), *O. porosa* (PI = 5,7%) e *I. chamaedrifolia* (PI = 4,8%), somando em torno de 45% do VI. Dessas, somente *I. microdonta* e *O. porosa* foram amostradas em todos os levantamentos. As 25 espécies subsequentes representaram outros 45% do PI e as 79 espécies restantes apenas 10% do VI.

Myrtaceae e Aquifoliaceae juntas contribuem para 61% da importância fitossociológica da comunidade arbórea altomontana amostrada na Serra do Mar no Paraná (Figura 7). Winteraceae, Lauraceae, Bignoniaceae, Cunoniaceae e Cardiopteridaceae também apresentam uma importante participação, respectivamente com valores de importância de 8, 7, 4, 3 e 3%.

Comparações com outras serras do Sul e Sudeste brasileiro

O dendrograma resultante da análise de agrupamento pela porcentagem de importância das espécies na estrutura arbórea das florestas altomontanas das 11 serras do Complexo Serra do Mar no Paraná e de florestas ombrófilas altomontanas ocorrentes nos Aparados da Serra Geral (em Santa Catarina) e na Serra da Mantiqueira (em Minas Gerais), destacou dois grandes grupos (Figura 8). O primeiro grupo é composto por todos os sítios na Serra do Mar no Paraná e os das serras dos Aparados da Serra Geral (serras da Igreja e do Rio do Rastro) em Santa Catarina, onde destaca-se a proximidade das serras do Ibitiraquire e da Prata, seguida das serras da Igreja (PR) e do Marumbi. O segundo grupo é composto apenas pelas florestas altomontanas amostradas na Serra da Mantiqueira (França e Stehmann 2004 e Meireles *et al.* 2008) (Figura 8).

Figura 6 - Espécies ordenadas pelos valores de importância estruturais nas florestas altomontanas amostradas em 11 levantamentos fitossociológicos em nove serras no Paraná

Figure 6 - Classification of the main tree species by importance value sampled on upper montane rain forests of 11 phytosociological surveys on nine mountain ranges in Southern Brazil

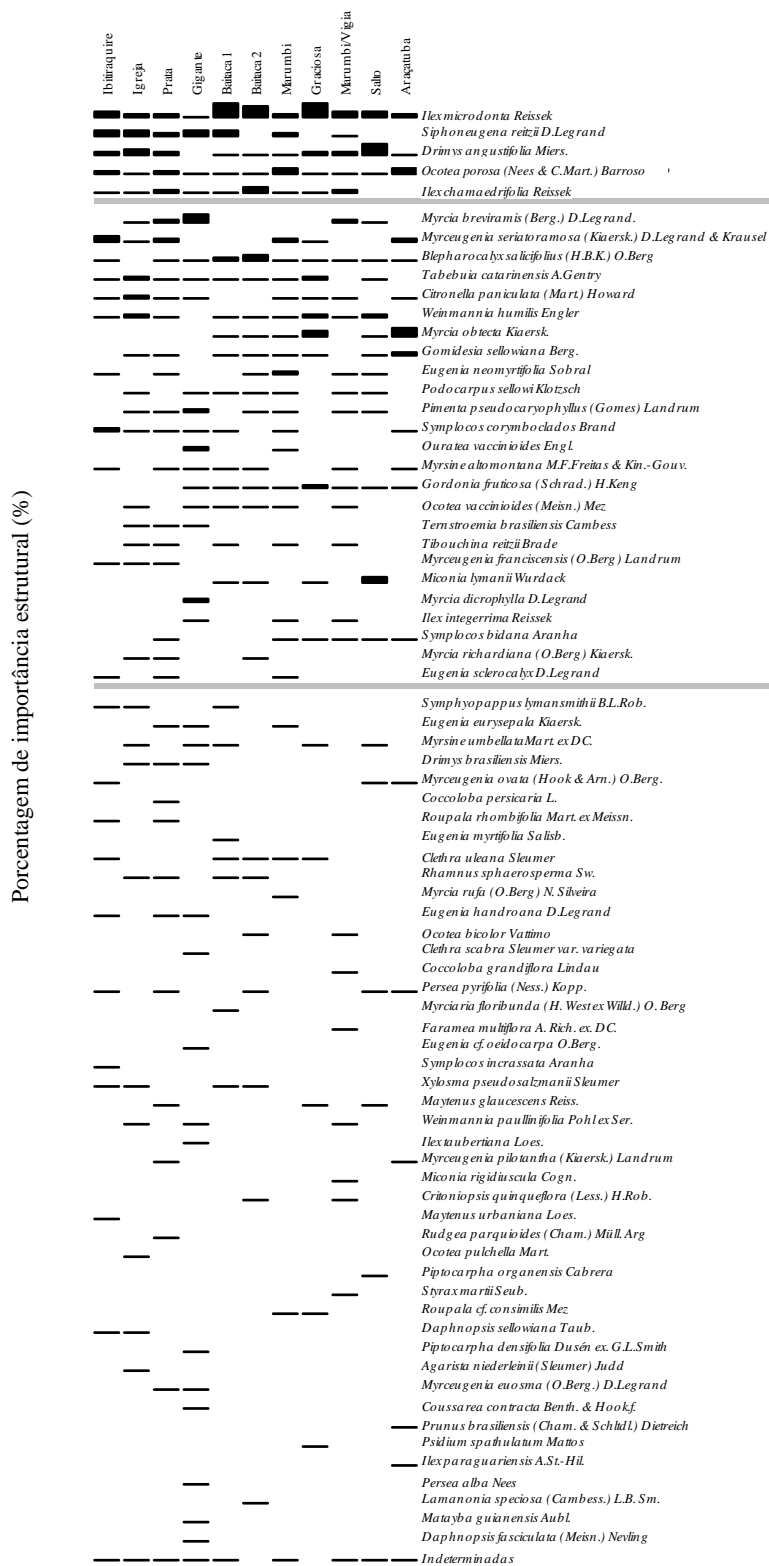


Figura 7 - Famílias ordenadas pelos valores de importância estruturais nas florestas altomontanas amostradas em 11 levantamentos fitossociológicos em nove serras no Paraná

Figure 7 - Classification of the main families by importance value sampled on upper montane rain forests of 11 phytosociological surveys on nine mountain ranges in Southern Brazil

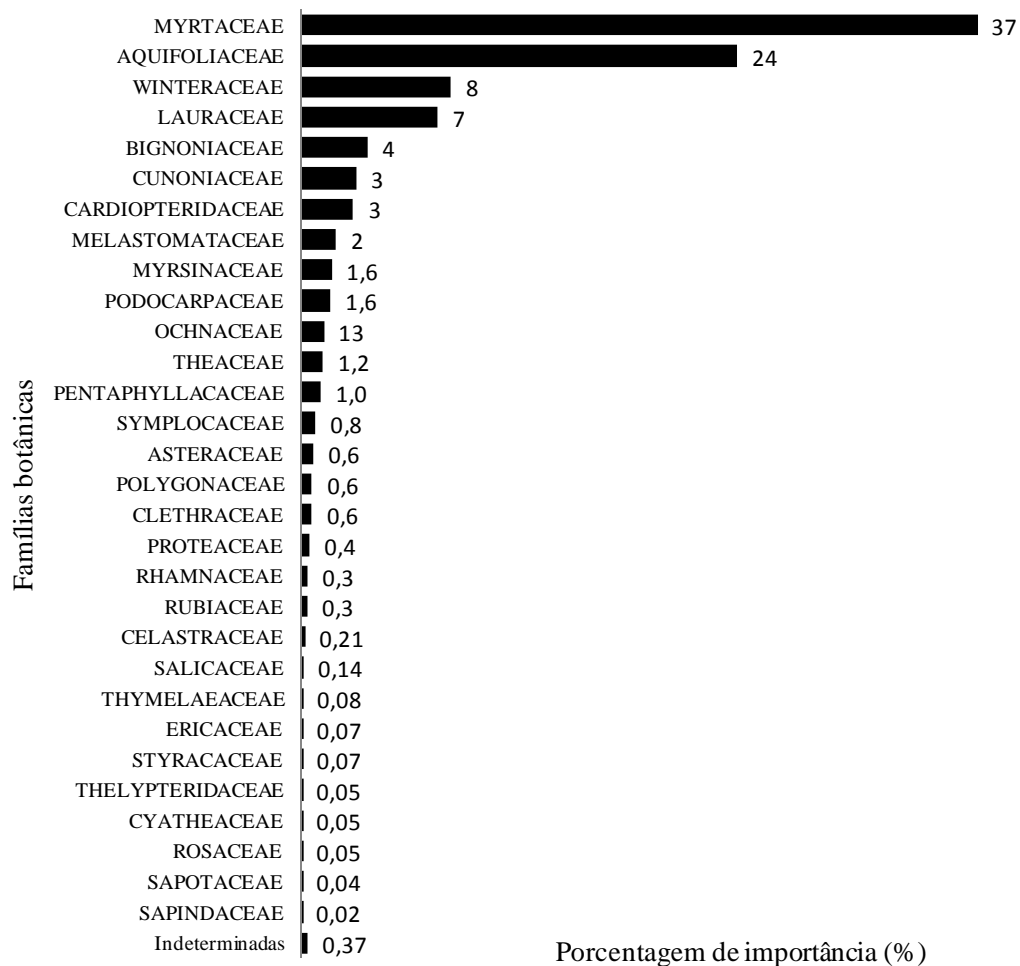
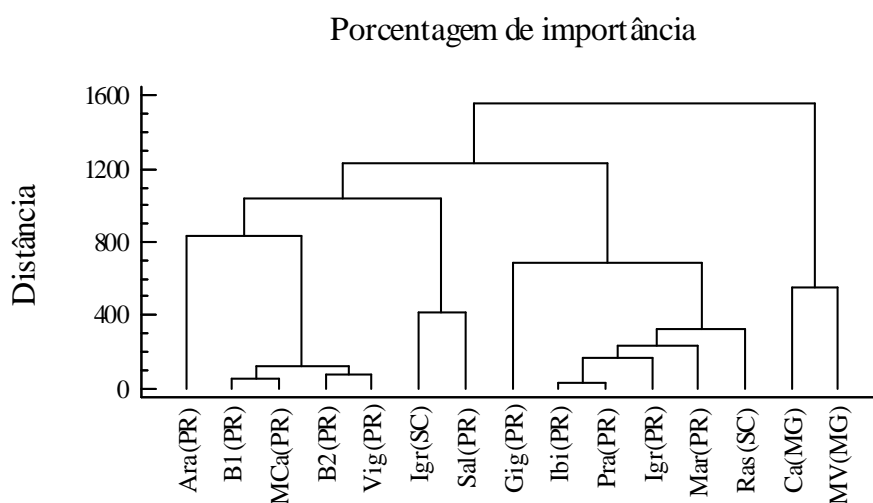


Figura 8 - Dendrograma com base nos valores de importância estruturais das espécies amostradas em diferentes florestas altomontanas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. B1 – Baitaca 1 (Anhangava); MCa – Mãe Catira (Serra da Graciosa); B2 – Baitaca 2 (Anhangava); Vig – Vigia (Serra do Marumbi); Ara – Araçatuba; Igr(SC) – Morro da Igreja; Sal – Salto; Gig – Gigante; Ibi – Ibitiraquire; Pra – Prata; Igr(PR) – Serra da Igreja; Mar – Marumbi; Ras – Serra do Rio do Rastro; Ca – Camanducaia; MV - Monte Verde

Figure 8 - Dendrogram showing groups by importance value of species sampled on upper montane rain forests occurring in Southern and Southeastern Brazil



DISCUSSÃO

Os levantamentos fitossociológicos nas quatro serras do presente estudo apresentaram áreas basais, densidades, índices de diversidade de Shannon (H') e de Equabilidade de Pielou (J') similares aos publicados nos demais trabalhos no Paraná (Tabela 5). Os valores de riqueza um pouco maiores devem-se principalmente à maior intensidade amostral, possibilitando a inclusão de diferentes situações em relação à exposição, formas e declividades de rampa, solos etc.

Os trechos amostrados na Serra do Ibitiraquire apresentaram um menor H' em relação às demais serras, devido ao caráter de maior oligodominância, em que as cinco principais espécies perfizeram 64% do VI, enquanto que para a Serra da Prata, com maior H' , o valor foi de 46%. Tal fato pode ser visualizado graficamente na

Figura 2, observando-se as dez primeiras barras de cada Serra. Isto pode ser explicado pelas condições ambientais mais pronunciadas (menores temperaturas, menor produtividade primária, decomposição mais lenta da matéria orgânica no solo, maior exposição aos ventos, etc.) à medida que se eleva a altitude e se distancia dos limites altitudinais montanos.

A fraca relação entre o número de espécies por parcela e altitude dentro dos limites altomontanos, sugere uma leve tendência de florestas de maior altitude (próximas aos topos das montanhas) apresentarem um menor número de espécies dominando sua estrutura. Essa relação foi um pouco mais evidente utilizando-se o gradiente altitudinal dentro de uma mesma serra (Serra do Ibitiraquire). Porém, em estudo da florística vascular altomontana dessas serras, Scheer & Mocoichinski (2009), chegaram a um resultado de riqueza de espécies arbóreas ao contrário do presente estudo da estrutura da floresta, listando o maior número de espécies arbóreas para a Serra do Ibitiraquire (66), seguido por 49 espécies para a Serra da Prata, 56 para a Serra da Igreja e 60 para a Serra Gigante, perfazendo um total de 106 espécies, pois as serras mais altas apresentam um maior gradiente altitudinal resultando em uma maior diversidade de ambientes a serem ocupados por diversas espécies, o que pode não ficar evidente em amostragens localizadas, como as do presente estudo. As diferentes feições geomórficas e os solos resultantes são fatores com grande influência na heterogeneidade ambiental e conseqüentemente na riqueza de espécies. Estudos envolvendo gradientes altitudinais (numa mesma montanha ou Serra) têm comprovado uma substituição e diminuição da riqueza de espécies com o aumento da altitude (Proctor *et al.* 1988, Roderjan 1994, Meireles *et al.* 2008).

S. reitzii está entre as três espécies mais importantes nas quatro serras amostradas, perfazendo o maior PI, considerando essas serras juntas (Figura 2). Esse resultado difere dos sete levantamentos compilados por Koehler *et al.* (2002), em que essa espécie ficou em sétimo lugar em PI. *Drimys angustifolia* (provavelmente a maior parte considerada como *Drimys brasiliensis* nos outros levantamentos) e *I. microdonta* ficaram com a segunda e terceira maiores porcentagens de importância entre as quatro serras do presente trabalho, concordando com a compilação de Koehler *et al.* (2002),

porém ficando em segundo e primeiro lugar, respectivamente. *Myrcia breviramis*, classificada por esses autores como espécie ocasional nas florestas altomontanas, ficou em quarto lugar entre as quatro serras do presente estudo, pelo fato de apresentar uma elevada porcentagem de importância na Serra Gigante (22%), serra com a menor altitude amostrada. *Ocotea porosa* (tratada como *Ocotea catharinensis* nos demais trabalhos; Marcelo Brotto, comunicação pessoal) ficou em sexto lugar comparado ao terceiro de Koehler *et al.* (2002). *B. salicifolius* e *Gordonia fruticosa*, consideradas típicas por esses autores ficaram no presente trabalho na vigésima quinta e quinquagésima quinta posição. *M. seriatoramosa* e *C. paniculata*, consideradas ocasionais por Koehler *et al.* (2002), ficaram na quinta e sexta posições nas quatro serras do presente trabalho. Conforme já comentado, apesar de serem formações altomontanas de uma mesma região fitogeográfica, tais diferenças indicam uma heterogeneidade ambiental entre os 11 trechos amostrados. Apesar da alta similaridade de espécies, grande parte delas ocupam diferentes posições de importância em cada comunidade.

Os grupos formados pelo dendrograma pelas porcentagens de importância das espécies nas quatro serras indicam uma influência da altitude das serras, agrupando-se as mais altas, do Ibitiraquire (áreas amostradas em média a 1700 m s.n.m.) com a da Prata (1400), essas com a Serra da Igreja (1300) e deixando a Serra Gigante (1000) isolada (Figura 3). As Serras do Ibitiraquire e Prata ficaram mais próximas, por apresentarem, por exemplo, nove espécies em comum entre as dez classificadas pelo maior porcentagem de importância (Figura 3, Tabelas 1 e 2). As áreas amostradas na Serra da Igreja ficaram próximas do primeiro grupo por apresentar entre suas 10 espécies mais importantes, sete espécies em comum às dez mais importantes desse grupo (Figura 3, Tabela 3). A Serra Gigante ficou separada por apresentar somente duas espécies comuns entre as demais dez mais importantes nas demais serras (Figura 3, Tabela 4). Como essa serra apresenta menores altitudes e menor gradiente altitudinal dentro de seu patamar altomontano, deve haver maior influência de elementos do patamar montano, diferenciando-a das demais áreas amostradas.

Em todas as serras a família Myrtaceae apresentou o maior número de espécies, de nove na Serra do Ibitiraquire até 17 na Serra da Prata, de 33,6% da população arbórea na Serra da Igreja, até 50% na Serra da Prata, de 30% da porcentagem de importância na Serra da Igreja, até 53,5% na Serra Gigante. Aquifoliaceae foi a segunda família mais importante. Tais resultados concordam com os demais trabalhos em florestas altomontanas (Koehler *et al.* 2002).

É indiscutível a mudança estrutural com vista ao porte dos indivíduos arbóreos ao longo de um gradiente altitudinal. A floresta altomontana amostrada por este estudo na Serra da Prata (em média a 1400 m s.n.m.), considerando DAP \geq 10 cm (ou PAP \geq 31,4 cm), apresentou um DAP médio de 14,3 cm, valor inferior aos encontrados por Blum (2006) em altitudes mais baixas na mesma montanha, DAP médio de 20 cm a 1000 m s.n.m. no patamar montano e de 26 cm a 500 m s.n.m. no patamar submontano.

As alturas também são bastantes reduzidas nos patamares altomontanos, raramente com árvores alcançando 8 m de altura. A maior frequência dos indivíduos amostrados entre 4 e 5 m de altura é característica das florestas altomontanas típicas paranaenses (Roderjan 1994, Koehler *et al.* 2002). Esses valores são próximos aos observados nos trechos amostrados nos Aparados da Serra Geral, sendo alturas médias de 6,3 m na Serra do Rio do Rastro e de 7,3 m no Morro da Igreja (Falkenberg 2003) e também aos na Serra da Mantiqueira, entre 5,3 e 7,1 m de altura (Meireles *et al.* 2008).

Na menor cota altitudinal (1820 m s.n.m.) de floresta altomontana estudada por Meireles *et al.* (2008) foram observados dois estratos verticais enquanto que na mais elevada (1940 m s.n.m.) foi observado apenas um estrato vertical. Segundo Koehler *et al.* (2002) a configuração de árvores baixas em apenas um estrato vertical deve-se a respostas dos indivíduos aos rigorismos ambientais, sobretudo à incidência de ventos fortes e à limitação no espaço disponível para a sustentação radicial. Isto sugere que os trechos amostrados na Serra da Mantiqueira por França & Stehmann (2004), apesar de apresentarem altitude em torno dos 1900 m s.n.m., apresentam características de florestas montanas, com alturas de até 22 m, compreendendo três estratos verticais, com alturas médias de 17, 11 e 5 m, respectivamente. No entanto

esses valores se enquadram na descrição de florestas altomontanas realizada por Veloso *et al.* (1991).

Em relação à compilação dos dados de Koehler *et al.* (2002), a nova ordenação do presente trabalho abrangendo os 11 levantamentos nas florestas altomontanas na Serra do Mar no Paraná exclui *B. salicifolius* e *G. fruticosa* do grupo das cinco mais importantes e inclui *S. reitzii* e *I. chamaedrifolia* nesse grupo, classificado nesse trabalho como o das espécies típicas da formação, as quais perfazem até 50% da porcentagem de importância (Figura 6). Sugere-se considerar do sexto ao trigésimo táxon (Figura 6), como pertencentes ao grupo de espécies comuns, por juntamente com as espécies típicas perfazerem 90% do VI. As 79 demais espécies podem ser classificadas como ocasionais.

Myrtaceae (PI de 37%) e Aquifoliaceae (24%) predominam na estrutura arbórea da floresta altomontana no Paraná (Figura 7). Os gêneros mais ricos em espécies arbóreas são *Eugenia*, com oito espécies, *Myrceugenia* e *Myrcia*, com seis espécies e *Ilex*, *Ocotea*, *Symplocos*, com cinco espécies cada. Falkenberg (2003) também aponta a grande riqueza de espécies de *Myrceugenia*, em que juntamente com *Siphoneugenia* ocupam mais da metade da abundância e dominância de “matinhas nebulares” dos Aparados da Serra Geral, em Santa Catarina. Na Serra da Mantiqueira, França e Stehmann (2004) e Meireles *et al.* (2008) também destacam a importância de Myrtaceae, Lauraceae, Winteraceae e Aquifoliaceae, bem como os gêneros *Myrceugenia*, *Drimys*, *Pimenta* e *Roupala*.

O resumo dos parâmetros fitossociológicos de 17 levantamentos fitossociológicos apresentado na Tabela 5 demonstra que, considerando o critério de inclusão de (PAP \geq 15,7 cm) dos demais trabalhos, as serras paranaenses indicaram menores alturas, DAPs e áreas basais (dados não apresentados), porém densidades similares. No presente estudo não foram consideradas árvores mortas que segundo França e Stehmann (2004), Meireles *et al.* (2008), entre outros, têm grande importância na estrutura das florestas altomontanas. Os trechos amostrados na Serra do Mar apresentaram menor riqueza de espécies que os trechos na Serra da Mantiqueira e maior que os dos Aparados da Serra Geral. Os índices de diversidade de Shannon (H')

das áreas amostradas na Serra do Mar são maiores que os encontrados nos Aparados da Serra Geral, porém menores que os da Serra da Mantiqueira.

Conforme dendrograma apresentado pela Figura 8, apesar dos trechos amostrados nos Aparados da Serra Geral serem mais semelhantes floristicamente aos sítios da Serra da Mantiqueira (Scheer & Moco-chinski 2009), estruturalmente são mais próximos aos da Serra do Mar paranaense. Isso é observado no primeiro grupo da Figura 8, onde a Serra do Rio do Rastro (SC) se une ao subgrupo da Serra do Marumbi, que apesar de apresentar poucas espécies comuns às serras paranaenses, essas também apresentam altos valores de importância, tais como *I. microdonta*, *S. reitzii* e *D. angustifolia*. Ainda dentro desse grande grupo a Serra da Igreja (SC) está agrupada com a Serra do Salto (PR) por apresentar *D. angustifolia* e *Weinmannia humilis* como espécies comuns e importantes estruturalmente, além de *Myrceugenia ovata* (= *M. regnelliana* var. *gracilis*).

Apesar de apresentarem espécies em comum às florestas altomontanas amostradas na Serra do Mar no Paraná (em torno de 15), tais como *Pimenta pseudocaryophyllus*, *D. brasiliensis*, *Roupala rhombifolia*, *C. paniculata*, *M. umbellata*, *G. fruticosa*, entre outras, as florestas altomontanas amostradas na Serra da Mantiqueira (França & Stehmann 2004 e Meireles *et al.* 2008) apresentam valores de importância dessas espécies muito diferentes, os quais deixaram essas serras destacadas num segundo grupo (Figura 8).

Tais diferenças, possivelmente estão relacionadas ao grau de perturbação antrópica entre as serras amostradas, à influência dos diferentes centros de endemismo pela distância geográfica, da formação geomorfológica e fitogeográfica, considerando que os trechos altomontanos amostrados na Serra do Mar pertencem à Floresta Ombrófila Densa, enquanto que os amostrados nos Aparados da Serra Geral têm grande influência de elementos da Floresta Ombrófila Mista, e alguns trechos da Serra da Mantiqueira (Oliveira-Filho *et al.* 2004) além das florestas ombrófilas, possuem influência de elementos das florestas estacionais.

Tabela 5 - Estrutura arbórea de diferentes florestas nebulares (montanas e altomontanas) nas regiões Sul e Sudeste do Brasil

Table 5 - Arboreal structure of cloud forests occurring in Southern and Southeastern Brazil

Complexo	Local	Região fitogeográfica	Formação	Altitude (m)	Nº de spp.	Densidade (ind/ha)	Área basal (m ² /ha)	H'	J'	Referência
Serra da Mantiqueira	Carrancas, MG	Semidecidual	montana / altomontana	1440-1513	217	2565	40,9	3,92	0,80	Oliveira-Filho <i>et al.</i> (2004)
	Bocaina de Minas, MG	Mista/Densa	montana / altomontana	1210-1360	221	2574	34,6	4,15	0,82	Carvalho <i>et al.</i> (2005)
	Camanducaia, MG	Densa/Mista	altomontana	1900	58	2001	48,1	2,9	0,71	França & Stehmann (2004)
	Monte Verde, MG	Densa	altomontana	1820-1940	64	3403	37,7	3,25	0,78	Meireles <i>et al.</i> (2008)
Aparados da Serra Geral	Serra do Rio do Rastro, SC	Mista	altomontana	1400*	16	2824	52,6	1,58	0,57	Falkenberg (2003)
	Morro da Igreja, SC	Mista	altomontana	1820*	13	3180	76,0	0,94	0,36	Falkenberg (2003)
Serra do Mar	Serra da Baitaca 1, PR	Densa	altomontana	1300-1400	25	4419	29,3	2,22	0,65	Roderjan (1994)
	Serra da Baitaca 2, PR	Densa	altomontana	1250-1350	24	4830	41,8	2,28	0,71	Portes <i>et al.</i> (2001)
	Serra do Marumbi, PR	Densa	altomontana	1400	29	4013	35,2	2,91	0,86	Rocha (1999)
	Serra do Marumbi, PR	Densa	altomontana	1250	28	3140	29,5	2,88	0,86	Koehler <i>et al.</i> (2002)
	Serra do Araçatuba, PR	Densa	altomontana	1400	17	2540	34,7	2,39	0,83	Koehler <i>et al.</i> (2002)
	Serra do Salto, PR	Densa	altomontana	1390	20	4480	27,6	2,19	0,72	Koehler <i>et al.</i> (2002)
	Serra da Graciosa, PR	Densa	altomontana	1350	19	4320	28,1	2,15	0,73	Koehler <i>et al.</i> (2002)
	Serra do Ibitiraquire, PR	Densa	altomontana	1500-1780	26 (24)	4600 (3333)	40,3 (37,9)	2,50 (2,35)	0,77 (0,74)	Presente trabalho
	Serra da Igreja, PR	Densa	altomontana	1310	34 (33)	4696 (2912)	30,5 (27,6)	2,62 (2,58)	0,74 (0,74)	Presente trabalho
	Serra da Prata, PR	Densa	altomontana	1400	37 (32)	3533 (2417)	29,4 (27,5)	2,96 (2,89)	0,82 (0,83)	Presente trabalho
	Serra Gigante, PR	Densa	altomontana	1000	41 (31)	6288 (3648)	29,6 (25,8)	2,63 (2,41)	0,71 (0,71)	Presente trabalho

*refere-se ao ponto culminante de cada serra/subserra

Critério de inclusão de indivíduos arbóreos:

Em todos os trabalhos realizados na Serra do Mar; PAP \geq 10 cm. Valores em parênteses se referem aos valores considerando PAP \geq 15,7 cm;

Oliveira-Filho *et al.* (2004), Carvalho *et al.* (2005) e Falkenberg (2006); PAP \geq 15,7 cm;

Meireles *et al.* (2008); PAP \geq 15 cm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angiosperm Phylogeny Group - APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Bot. J. Linn. Soc. 141(4):399-436.

BEARD, J.S. 1944. Climax vegetation in Tropical America. *Ecology* 25:127-158.

BEARD, J.S. 1955. The classification of tropical American vegetation types. *Ecology* 36:89-100.

BECKER, A., KÖRNER, C., BRUN, J., GUIBAN, A. & TAPPEINER, U. 2006. Ecological and land use studies along elevational gradients. 2007. *Mt. Res. Dev.* 27(1):58-65.

BLUM, C.T. 2006. A Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange, PR – caracterização florística, fitossociológica e ambiental de um gradiente altitudinal. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BOLSTAD, P.V. & VOSE, J.M. 2005. Forest and pasture carbon pools and soil respiration in the southern Appalachian Mountains. *Forest Sci.* 51:372-383.

BRUIJNZEEL, L.A. & PROCTOR, J. 1995. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? In *Tropical montane cloud forests* (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.38-78.

BRUIJNZEEL, L.A. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. 2000. In *Proceedings of the Second International Colloquium* (J.S. Gladwell, ed.). UNESCO, Paris, p.353-383.

BRUIJNZEEL, L.A. & HAMILTON, L.S. Decision Time for Cloud Forests. 2000. IHP Humid Tropics Programme Series n. 13, IHP-UNESCO, Paris, IUCN-NL, Amsterdam and WWF International, Gland, 44 pp.

CARVALHO, D.A., OLIVEIRA-FILHO, A.T., VAN DEN BERG, E., FONTES, M.A.L., VILELA, E.A., MARQUES, J.J.G.S.M & CARVALHO, W.A.C..2005. Variações florísticas e estruturais do componente arbóreo de uma floresta ombrófila alto-montana às margens do rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. *Acta bot. bras.* 19(1):91-109.

DOUMENGE, C., GILMOUR, D., PEREZ, M.R. & BLOCKHUS, J. 1995. Tropical montane cloud forests: conservation status and management issues. In *Tropical montane cloud forests* (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.24-37.

FALKENBERG, D.B. & VOLTOLINI, J.C. 1995. The montane cloud forest in southern Brazil. In *Tropical montane cloud forests* (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.138-149.

FALKENBERG, D.B. 2003. *Matinhas nebulares e vegetação rupícola dos Aparados da Serra Geral (SC/RS), sul do Brasil*. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Campinas.

FRANÇA G.S. & STEHMANN, J.R. 2004. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de uma floresta altimontana no município de Camanducaia, Minas Gerais, Brasil. *Rev. Brasil. Bot.* 27(1):19-30.

HAMILTON, L.S., JUVIK, J.O. & SCATENA, F.N. 1995. The Puerto Rico tropical cloud forest symposium: introduction and workshop synthesis. In *Tropical montane cloud forests* (L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds). Springer Verlag, New York, p.1-23.

KOEHLER, A., GALVÃO, F. & LONGHI, S.J. 2002. Floresta Ombrófila Densa Altomontana: aspectos florísticos e estruturais de diferentes trechos da serra do mar. *Ci. Fl.* 12(2):27-39.

LEIGH JUNIOR, E.G. 1975. Structure and climate in tropical rain forests. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 6:67-86.

MAACK, R. 2002. Geografia física do Estado do Paraná. Imprensa Oficial. Curitiba.

MAGURRAN, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton.

MARTÍNEZ, M.L., PÉREZ-MAQUEO, O., VÁZQUEZ, G., CASTILLO-CAMPOS, G., GARCÍA-FRANCO, J., MEHLTRETER, K., EQUIHUA, M. & LANDGRAVE, R. 2009. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecol. Manage.* 258(9):1856-1863.

MEIRELES, L.D., SHEPHERD, G.J. & KINOSHITA, L.S. 2008. Variações na composição florística e na estrutura fitossociológica de uma floresta ombrófila densa alto-montana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. *Rev. Brasil. Bot.* 31(4):559-574.

MOCOCHINSKI, A.Y. & SCHEER, M.B. 2008. Campos de altitude na serra do mar paranaense: aspectos florísticos. *Revista Floresta* 38(4):625-640.

MULLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, New York.

OLIVEIRA FILHO, A.T., CARVALHO, D.A., FONTES, M.A.L., BERG, E.V.D., CURI, N. & CARVALHO, W.A.C. 2004. Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada dos Perdizes, Carrancas, MG. *Rev. Brasil. Bot.* 27(2):291-309.

PORTES, M.C.G.O., GALVÃO, F. & KOEHLER, A. 2001. Caracterização florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana do morro Anhangava, Quatro Barras, PR. *Revista Floresta* 31(1 e 2):22-31.

PROCTOR, J., LEE, Y.F., LANGLEY, A.M., MUNRO, W.R.C. & NELSON, T. 1988. Ecological studies on Gulung Silam, a small ultrabasic mountain in Sabah, Malaysia. I, Environment, forest structure and floristics. *J. Ecol.* 76: 320–340.

ROCHA, M.R.L. 1999. Caracterização fitossociológica e pedológica de uma floresta ombrófila densa no parque estadual do Pico do Marumbi – Morretes, PR. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RODERJAN, C.V. 1994. A floresta ombrófila densa altomontana no morro Anhangava, Quatro Barras, PR: aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RODERJAN, C.V. & GRODSKI, L. 1999. Acompanhamento meteorológico em um ambiente de Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro Anhangava, Mun. De Quatro Barras – PR, no ano de 1993. *Cadernos da Biodiversidade* 2(1):27-34.

RODERJAN, C.V., GALVÃO, F., KUNIYOSHI, Y.S. & HATSCHBACH, G.G. 2002. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. *Cienc. Ambient.* 24(1):75-92.

SCHEER, M.B. & MOCOCHINSKI, A.Y. 2009. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. *Biota Neotrop.* 9(2): <http://www.biotaneotropica.org.br/v9n2/pt/abstract?article+bn00609022009> (último acesso em 20/07/2009)

STADTMÜLLER, T. 1987. Cloud Forests in the humid tropics: a bibliographic review. The United Nations University; Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza, Tokyo; Turrialba.

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

ZAR, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*, 3 ed. Prentice Hall, New Jersey.

CAPÍTULO III

FUNCIONALIDADES AMBIENTAIS DE SOLOS ALTOMONTANOS NA SERRA DA IGREJA, PARANÁ

ENVIRONMENTAL FUNCTIONALITIES OF UPPER MONTANE SOILS IN SERRA DA IGREJA, SOUTHERN BRAZIL

RESUMO

Os solos de alguns ecossistemas altomontanos no Paraná ainda suportam vegetações florestais e campestres em excelente estado de conservação. No entanto, iminentes ameaças antrópicas e a fragilidade destes ambientes têm sido motivos de preocupação. Com o objetivo de caracterizar os solos de área representativa dos campos altomontanos e da Floresta Ombrófila Densa Altomontana ocorrentes na Serra da Igreja, de apontar quais os possíveis fatores pedológicos que resultam nas diferentes fitotipias e ainda, de indicar algumas das suas funcionalidades ambientais (estoque de carbono e de água), foi realizado estudo através de transecto com abertura de trincheiras e tradagens complementares. Os principais solos encontrados nos campos altomontanos foram Organossolos Háplicos Fíbricos/Sápricos típicos e térricos e nas florestas altomontanas foram Gleissolos Háplicos Alíticos típicos. Ambas as classes, são de solos distróficos, extremamente ácidos, com alta saturação por Al trocável e altos teores de carbono orgânico total. A distribuição das florestas altomontanas está fortemente controlada por lineamentos geológicos que resultam em vales e colos de cumeeiras com relevo forte ondulado e montanhoso. Estas feições geomórficas estão sujeitas aos processos morfogenéticos (coluvionamento), resultando em solos com horizontes minerais. Já os campos altomontanos na Serra da Igreja, estão estabelecidos em topos com formas predominantemente onduladas, com ruptura abrupta de declive em relação aos colos. Apesar da sujeição aos processos erosivos os processos pedogenéticos promoveram espessamento de horizontes hísticos, os quais, em função de suas características intrínsecas (baixa densidade e elevada saturação hídrica), aliadas aos fortes ventos dominantes daqueles pisos altitudinais, parecem conter com

sucesso o avanço da floresta sobre o campo. Os estoques de carbono por unidade de área nos solos dos campos são superiores aos dos das florestas altomontanas, sendo ambos considerados altos, quando comparados aos dados de outros ecossistemas, sendo duas a três vezes maiores do que os encontrados em solos de ecossistemas de altitudes mais baixas na mesma latitude. Os estoques de carbono nos solos estudados foram superiores aos estoques estimados para a biomassa aérea de florestas submontanas, as quais apresentam alta produtividade primária. Outra importante característica ambiental desses solos é a alta capacidade de retenção hídrica devido à sua porosidade total verificada nos horizontes hísticos, podendo reter em média doze vezes seu volume em água.

Palavras-chave: Campo altomontanos, Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Estoques de carbono no solo, Retenção hídrica do solo

ABSTRACT

The soils of some upper montane ecosystems in Paraná, Southern Brazil, still support forest and grassland vegetation in excellent condition. However, the increasing anthropogenic threats and the ephemerality of these environments have been causing concern. The aims of this study were: (1) to characterize the soils of representative area of high altitude grasslands and upper montane rain forests in the Serra da Igreja; (2) to point out which are the possible pedological factors that result in the different types of vegetation and; (3) to point out some of the environmental roles of the soil of this area (carbon stocks and water retention). Therefore hand augering and profile descriptions were used in a transect crossing an upper montane forest and a high altitude grassland. The main soil types found in the high altitude grasslands were typic- and terric- fibric/sapric Haplic Histosols and the upper montane forests were typic alitic Gleysols. Both soils are dystrophic and extremely acid and have high exchangeable Al saturation and very high levels of total organic carbon. The upper montane forests are strongly established by structural control of valleys (fractures).

This geomorphic feature is influenced by morphogenetic processes (colluvial deposition), which result in soils with relatively thick mineral horizons and greater accumulation of clay, in agreement with other studies. The Serra da Igreja grasslands are located in flat tops with abrupt break of slopes in relation to valleys. In these sites, pedogenical processes provided greater thickness of histic horizons. This fact combined with a great wind exposure and with a high density of fine roots of grassland species, do not seem to support the normal development of the tree species. Carbon stocks per unit area in the soil of the grasslands are higher than those of upper montane forests, and both are considered high compared to data of other ecosystems available in the literature, being two to three times higher than those found in soil ecosystems at low altitudes at the same latitude. Carbon stocks in the soils were higher than those estimated for the stock biomass of submontane forests, that have high primary productivity. Another important environmental feature of these soils is their high capacity of water retention, that can retain approximately twelve times their volume in water, as observed for the total porosity values in histic horizons.

Keywords: High Altitude Grasslands, Upper Montane Cloud Forests, Soil carbon stocks, Soil water retention

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo representa a maior parte do carbono terrestre, sendo que seus estoques até um metro de profundidade alcançam aproximadamente 1500×10^{15} g (Pg = petagramas) (Batjes, 1996; Jobbagy & Jackson, 2000). Reservas ainda maiores (2500×10^{15} g de carbono) foram estimadas considerando as profundidades de solo de 2 e 3 m (Batjes, 1996; Jobbagy & Jackson, 2000). No Brasil, estima-se que $36,4 \times 10^{15}$ g de C são estocados no solo sob vegetação nativa dentro dos 30 cm superficiais (Bernoux *et al.*, 2002). Isso corresponde a 5% da reserva de carbono mundial neste compartimento (Batjes, 1996), indicando que mesmo um único

país pode influenciar grandemente nos fluxos de carbono global (Bernoux *et al.*, 2002) dependendo de sua extensão territorial. Uma vez que comportam horizontes hísticos e húmicos, riquíssimos em matéria orgânica, os solos de ecossistemas altomontanos desempenham um importante papel na imobilização de carbono, bem como na regulação de fluxos hídricos (Bruijnzeel, 2000; Simas *et al.*, 2005; Benites *et al.*, 2007). O grande acúmulo de matéria orgânica nesses ambientes deve-se às condições desfavoráveis para a decomposição microbiana, tais como baixas temperaturas, alta umidade, baixa respiração, falta de nutrientes disponíveis e altos níveis de alumínio (Zech *et al.*, 1997; Simas *et al.*, 2005; Benites *et al.*, 2007). O acúmulo de compostos orgânicos fortemente humificados no solo, na forma relativamente estável de complexos organometálicos, incluindo principalmente Al e Fe, dificulta que os microorganismos utilizem essa matéria orgânica como substrato (Volkoff *et al.*, 1984; Zech *et al.*, 1997; Simas *et al.*, 2005; Don *et al.*, 2007).

As substâncias húmicas contribuem para aumentar a quantidade de nutrientes e a capacidade de troca catiônica e de retenção de água no solo, que, por sua vez, propiciam o desenvolvimento da vegetação a qual devolve a matéria orgânica com a deposição de sua fitomassa aérea e morte das raízes, garantindo a sustentabilidade desses ambientes (Simas *et al.*, 2005; Benites *et al.*, 2007). Durante períodos chuvosos os solos altomontanos são encharcados, sendo gradualmente drenados ao longo do tempo, regulando os fluxos hídricos das cabeceiras das bacias hidrográficas e, juntamente com a vegetação, minimizando riscos de erosão à jusante (Martínez *et al.*, 2009; Bruijnzeel & Proctor, 1995; Benites *et al.*, 2007). Em períodos menos chuvosos, a interceptação direta da água presente nas nuvens, comuns em ambientes altomontanos (Hamilton *et al.*, 1995; Bruijnzeel & Proctor, 1995), pode ser retida pela vegetação e seus solos e encaminhada lentamente às nascentes dos rios logo à jusante, evitando-se maiores perdas.

Estimativas dos estoques de carbono nos solos em escalas regionais, nacionais e globais têm uma enorme importância para se ter acesso às mudanças nos fluxos de carbono (Batjes & Dijkshoorn, 1999; Yimer *et al.*, 2006). Para melhorar a capacidade de prever, propor e de executar ações para amenizar as consequências das

mudanças climáticas globais relacionadas aos gases de efeito estufa, a sociedade depende, em parte, do conhecimento desses estoques em diferentes tipos de solos e de vegetação e dos fatores que influenciam sua distribuição (Batjes & Dijkshoorn, 1999; Filho *et al.*, 2007; Bernoux *et al.*, 2002). Tal necessidade, elevou o número de trabalhos com esse propósito para diversas áreas no mundo (Garcia-Pausas *et al.*, 2007). No entanto, no Brasil, tais estudos são escassos, ainda sendo necessárias estimativas regionais para refinar os estudos mais amplos (Bernoux *et al.*, 2002). Considerando que grande parte da matéria orgânica desses solos está nos 30 cm superficiais, há um grande potencial de liberação de CO₂ para a atmosfera caso a vegetação seja queimada ou cortada e a área convertida para a agricultura ou pecuária (Yiemer *et al.*, 2006). A perda de ecossistemas naturais pode implicar num significativo prejuízo econômico para a sociedade em termos de serviços ecossistêmicos prestados pela matéria orgânica do solo (Martínez *et al.*, 2009).

Solos de florestas altomontanas ainda são muito pouco estudados (Arteaga *et al.*, 2008), não sendo disponibilizados dados com georreferenciamento harmonizados com estoques de carbono e outras características dos solos, sua biodiversidade e endemismos, capacidade de filtro de poluentes e de prevenção de eutrofização, entre outros fatores essenciais para se constituir uma base de dados para subsidiar futuras ações (Becker *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2009). Apesar de alguns trabalhos recentes, ainda se sabe muito pouco sobre os solos subtropicais das terras altas brasileiras (Simas *et al.*, 2005). Devido ao pouco detalhamento da distribuição dos solos altomontanos no Brasil, ainda não é devidamente reconhecida a importância desses ambientes (Benites *et al.*, 2007). Muitas vezes, ações para sua conservação são limitadas devido à falta de mapas com escalas maiores (com mais detalhes) que incluam solos ricos em carbono (Benites *et al.*, 2007).

Na região Sul do Brasil, alguns trabalhos caracterizaram solos sob florestas altomontanas (Roderjan, 1994; Ghani, 1996; Rocha, 1999; Portes, 2000, Falkenberg, 2003; Wisniewski *et al.*, 2005; Vashchenko *et al.*, 2007; De Paula, 2008). Os solos mais comuns amostrados foram Neossolos Litólicos, Gleissolos, Organossolos, ocorrendo também Cambissolos e Argissolos Vermelho-Amarelos e Bruno-

Acidentados em encostas e vales mais encaixados. Informações sobre solos de campos altomontanos (campos de altitude ou Refúgios Vegetacionais Altomontanos, segundo Veloso *et al.*, 1991) são ainda mais escassas. Wisniewski *et al.*, (2005) e Vashchenko *et al.* (2007) observaram campos sobre Neossolos Litólicos Hísticos e Organossolos.

Segundo os trabalhos realizados no Paraná, para ambas as formações altomontanas, os solos são pouco desenvolvidos, extremamente ácidos, com altos teores de carbono, baixa saturação por bases e alta saturação por alumínio trocável. Tais informações são semelhantes com as de solos de diferentes regiões altomontanas do Brasil, em diferentes litotipias e tipos vegetacionais, tais como complexos rupestres de altitude na região Sudeste (Simas *et al.*, 2005; Benites *et al.*, 2007, Silva *et al.*, 2009) e florestas nebulares nos Aparados da Serra Geral, em Santa Catarina (Falkenberg, 2003).

No entanto, no Paraná ainda não existem trabalhos específicos sobre solos de florestas altomontanas ocorrentes sobre substratos graníticos, muito menos sobre solos de campos altomontanos que abranjam as diversas feições geomórficas apresentadas ao longo de suas áreas de ocorrência originais. São muito comuns diferenças significativas nos estoques de carbono encontradas nos solos em diferentes exposições, posições topográficas e materiais parentais numa mesma montanha (Yimer *et al.*, 2006; Garcia-Pausas *et al.*, 2007). A variabilidade espacial nos teores de carbono, nas densidades e profundidades desses solos, pode ser utilizada como ferramenta de manejo ambiental, apontando parâmetros para priorizar áreas com maior potencial de fixar e estocar carbono e mitigar mudanças climáticas (Yimer *et al.*, 2006; Don *et al.*, 2007; Garcia-Pausas *et al.*, 2007).

Dando continuidade aos estudos sobre ambientes altomontanos no Paraná, realizados por Mocoichinski & Scheer (2008), por Scheer & Mocoichinski (2009) e por Scheer *et al.* (Capítulo II deste trabalho), os objetivos desse trabalho são: (1) caracterizar solos de área representativa dos campos altomontanos e da Floresta Ombrófila Densa Altomontana ocorrentes na Serra da Igreja; (2) apontar quais os possíveis fatores pedológicos que resultam nas diferentes fitotipias e; (3) estimar seus potenciais de estocar carbono e água.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo está localizada em um dos picos da Serra da Igreja, subserra da Serra do Mar, a 1335 m s.n.m., coordenadas 25°36'S e 48°51'W (Figura 1). A Serra da Igreja está inserida na Área de Proteção Ambiental – APA de Guaratuba, nos municípios de Guaratuba, Morretes e São José dos Pinhais. Assim como a maioria das montanhas da Serra do Mar no Paraná, suas porções superiores são formadas por granitos alcalinos encaixados em terrenos metamórficos de alto grau com contatos claramente falhados, em consonância com sua origem tectônica (MINEROPAR, 2001). A rocha ígnea intrusiva do local do presente estudo denominado Granito Serra da Igreja, foi originada a aproximadamente 550 milhões de anos, no Proterozóico Superior - Cambriano (MINEROPAR, 2001). É cortada por falhamentos na direção NE-SW do Ciclo Brasileiro/Pan Africano (eventos do final do Proterozóico Inferior) e do Arco de Ponta Grossa, importante estrutura de direção NW-SE da bacia do rio Paraná, ativa desde o Paleozóico, mas palco de intensa atividade tectônica durante o Mesozóico, quando movimentos verticais ao longo do arqueamento atingiram seu apogeu, e profundas fraturas longitudinais deram passagem ao magma formador de extensos derrames da formação Serra Geral, representados predominantemente por diques de diabásio (Melo *et al.*, 2000).

O topo da citada serra é constituído por cobertura florestal (Floresta Ombrófila Densa) e campestre (Estepes). As estepes estão localizadas em posição de cimeira, com ausência de pedregosidade e rochosidade, em relevos planos a ondulados, predominantemente de divergência hídrica, enquanto a floresta ocupa as posições de colo de cumeeira, em relevos forte ondulados e montanhosos, explicitamente em feições de convergência hídrica (Figura 2).

Nessa serra, a Floresta Ombrófila Densa Atlântica cobre sua maior extensão, atingindo, em sua formação altomontana, as porções mais elevadas das encostas, acima de 1200 m s.n.m. e muito bem preservada devido ao seu difícil acesso. Em

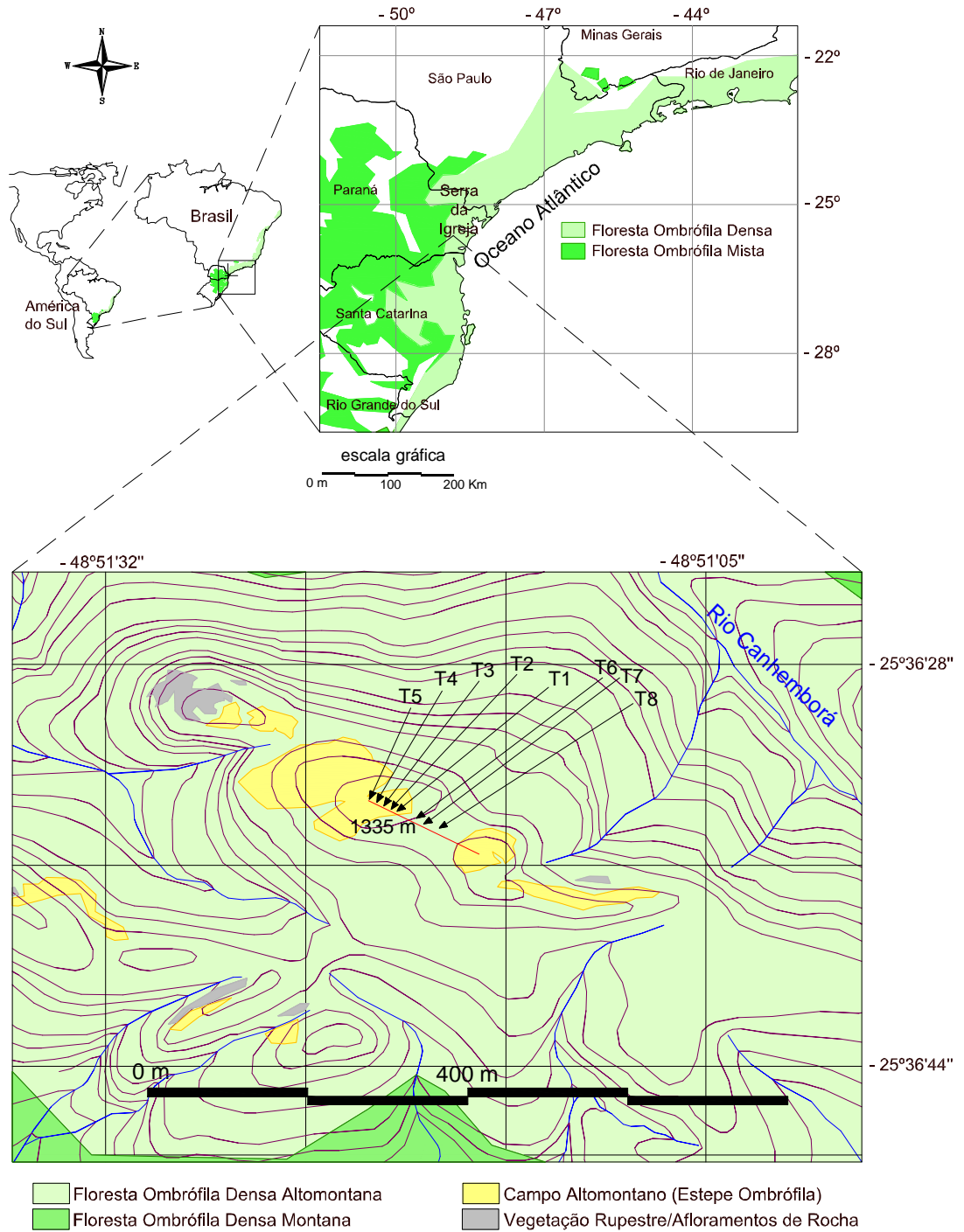
alguns trechos, nas encostas a oeste das montanhas do lado ocidental da serra, ocorre o ecótono entre essa e a Floresta Ombrófila Mista Montana, a aproximadamente 1100 m s.n.m. Já nas porções mais elevadas das montanhas, a partir dos 1300 m s.n.m. passam a ocorrer os campos altomontanos em excelente estado de conservação, sem indícios de interferência antrópica.

O clima das florestas altomontanas da Serra do Mar paranaense é classificado como Cfb, segundo Köppen, sendo subtropical, sempre úmido e com a temperatura média do mês mais frio abaixo de 18 °C e superior a - 3 °C e a média do mês mais quente inferior a 22 °C (Roderjan, 1994). Roderjan & Grodski (1999) observaram temperatura mínima absoluta de - 5 °C, média anual de 13,4 °C e máxima absoluta de 30 °C para patamares altomontanos a 1385 m s.n.m., em ambiente florestal, no Morro do Anhangava, no município de Quatro Barras, a aproximadamente 25 km ao norte da Serra da Igreja, no Paraná. As precipitações na Serra do Mar são bem distribuídas ao longo do ano e apresentam grande variação em função da topografia local. Medições na região litorânea ultrapassam 2000 mm anuais e nas encostas da serra os valores chegam a 3500 mm (Maack, 2002).

Os pontos amostrais foram inseridos em um transecto que passa por cumeeiras aguçadas (topos aplainados com 1335 m s.n.m.) cobertos por campos altomontanos sobre Organossolos em rampas convexas divergentes de pequeno dimensionamento geográfico (1,5 ha), os quais após abrupta ruptura de declive dão lugar a rampas côncavas-convergentes, nas classes de declive forte ondulado e montanhoso, constituídas por Gleissolos com horizontes hísticos sob floresta altomontana (Figuras 1 e 2).

Figura 1 - Localização da sequência amostral na Serra da Igreja, PR

Figure 1 - Location of the sampled area in Serra da Igreja, Southern Brazil



Os campos altomontanos na área de estudo são constituídos por plantas herbáceas com aproximadamente 70 cm de altura, onde é dominante *Lagenocarpus triquetrus* (Boeck.) Kuntze (Cyperaceae), além de arbustos de pequeno porte tais como *Croton mullerianus* L. R. Lima (Euphorbiaceae) (em média 50 cm de altura) e *Tibouchina dubia* (Cham.) Cogn. (Melastomataceae). Espécies arbóreas com participação na estrutura das florestas altomontanas adjacentes com altura aproximada de 5 m, tais como *Myrsine altomontana* M.F. Freitas & Kin.-Gouv. (Myrsinaceae) e *Tabebuia catarinensis* A. Gentry (Bignoniaceae), também ocorrem nos campos, porém esparsamente, com pequena cobertura e na forma de arbustos com altura média de 50 cm. Em levantamento florístico realizado no local por Mocoichinski & Scheer (2008), foram detectadas 99 espécies de plantas vasculares.

Conforme descrito anteriormente, a floresta altomontana apresenta-se sob controle estruturalizado por falhamentos do Brasileiro/Pan Africano e do Arco de Ponta Grossa, fazendo com que ela não alcance os principais topos da serra, apesar de chegar a poucos metros deles. A mudança de vegetação de floresta para campo é abrupta, com área ecotonal com fisionomia arbustiva com espécies das duas formações num gradiente de poucos metros (2 a 5 m). Segundo Scheer *et al.* (Capítulo II deste trabalho), *Siphoneugena reitzii* D. Legrand (Myrtaceae), *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) e *Drimys angustifolia* Miers. (Winteraceae) perfazem 50% do porcentagem de importância fitossociológica arbórea (PAP \geq 10 cm). A área basal é de 30,5 m²/ha e a densidade é de 4696 ind/ha.

Coleta de amostras e análises dos dados

Foram inicialmente realizadas tradagens no solo em forma sequencial, em transecto abrangendo campos e florestas altomontanas. Após mapeamento de solos detalhado, foram coletados, em sequência, em três perfis de solos, respectivamente, dois Organossolos e um Gleissolo, além de amostras complementares superficiais (de 0 a 20 cm) e subsuperficiais (de 20 a 40 cm) com trado tipo holandês. Os Organossolos encontram-se sobre cobertura vegetal estépica e, a despeito de

ocorrerem em posição de cumeeira aguçada, um ocorre em pequena depressão o que determina maior espessura e drenagem restrita, enquanto o outro é mais raso e mais bem drenado, em posição de cumeeira propriamente dito (1335 m s.n.m.). O Gleissolo faz parte da paisagem de colo de cumeeira (1325 m s.n.m.), sob cobertura florestal altomontana localizado à aproximadamente 50 m de distância dos perfis anteriores (Figuras 2 e 3). Nesses, foram realizadas descrições morfológicas, definidos os horizontes diagnósticos e coletadas amostras para fins de classificação dos solos seguindo o procedimento descrito por Santos et al. (2005). A classificação dos solos foi realizada de acordo com EMBRAPA (2006).

No campo, para analisar o estágio de decomposição da matéria orgânica, foi utilizada a escala de Von Post descrita por EMBRAPA (2006).

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). As análises granulométricas (areia, silte e argila) foram realizadas somente nas amostras minerais. As análises químicas envolveram a determinação de pH em CaCl_2 , cátions trocáveis (Ca, Mg e K), acidez extraível (Al e H) e P disponível extraído em Mehlich-1. Foram obtidos os índices: soma de bases (S) = Ca + Mg + K; T capacidade de troca catiônica (T) = S + H + Al; saturação por bases (V%) = $100 S/T$ e saturação por Al trocável (m%) = $100 \text{Al}/(S + \text{Al})$. Tais análises foram feitas nos laboratórios de Física e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

Amostras indeformadas também foram coletadas nos perfis através de anéis volumétricos e foram enviadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Florestas para caracterizações físico-hídricas, sendo determinada a densidade aparente, a água disponível, a permeabilidade saturada, a porosidade total, a de aeração e a macroporosidade, segundo EMBRAPA (1997).

A determinação de carbono orgânico total por via seca foi realizada no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia nuclear na Agricultura (CENA).

O estoque de carbono no solo (em kg C/m^2) foi calculado segundo Batjes (1996) e Yimer *et al.* (2006). Primeiramente, foi multiplicado o teor de carbono

orgânico total (em g/kg) de cada subhorizonte pela densidade do solo (em kg/m³) e pela sua espessura (em m). A densidade de partículas grosseiras (≥ 2 mm), geralmente subtraídas da densidade do solo para utilizar a densidade somente da terra fina (fração ≤ 2 mm) (Garcia-Pausas *et al.*, 2007; Don *et al.*, 2007) não foi necessária devido à sua inexistência ou a valores desprezíveis. Os dados foram extrapolados para t/ha. Nos pontos sequenciais analisados por tradagens, onde houve também a definição da espessura dos horizontes e foram calculados os estoques de carbono com base nos teores e densidades correspondentes aos perfis mais próximos e com características similares.

No campo altomontano, um levantamento prévio de forma sistemática (malha com 52 tradagens) em todo o topo da cumeeira estudada (dados não publicados), foi utilizado para validar a profundidade média obtida para a estimativa do potencial de estoque de C no solo.

Apenas como simples aproximações para extrapolar os possíveis estoques de C, através de fotos aéreas de 1980, na escala 1:25.000, do Instituto de Terras e Cartografia (ITC-PR), obteve-se uma estimativa da área dos campos altomontanos na Serra da Igreja. Para a floresta altomontana, além da observação nas fotos, foi utilizado como base, o levantamento do PRÓ-ATLÂNTICA (2002). Com base nas áreas obtidas pelo PRÓ-ATLÂNTICA (2002), também foram estimados os estoques potenciais de C para essas duas fitotipias na Serra do Mar no Paraná. No entanto, ressalta-se que no presente trabalho foram apenas estimados os potenciais de estoque de carbono, sendo necessárias estimativas em escalas de maior detalhe, bem como considerar demais tipos de solos presentes em outras porções da serra.

Para comparar as propriedades químicas entre os principais horizontes superficiais (0 a 20 cm) e subsuperficiais (20 a 40 cm) e os estoques de carbono no solo do campo e da floresta altomontana, foram feitos testes de *U* de Mann-Whitney (Wilcoxon). Para esses testes não paramétricos, as medianas são comparadas par a par. Foram calculados coeficientes de correlação de Spearman (R_s) para verificar o comportamento dos parâmetros químicos ao longo dos perfis.

Figura 3 - a) Trechos amostrados na Serra da Igreja, Paraná; b) Perfil 1, Organossolo sob campo altomontano; c) Perfil 2, Organossolo sob campo altomontano com drenagem mais restrita e; d) Perfil 3, Gleissolo sob floresta altomontana

Figure 3 - a) Sampled sites in the Serra da Igreja, Paraná State, southern Brazil; Profile 1, Histosol of the high altitude grassland; c) Profile 2, Histosol with higher hydric saturated conditions of the high altitude grassland e; d) Profile 3, Gleysol of the upper montane cloud forest

a



b



c



d



Tabela 1 - Propriedades químicas dos solos em ecossistemas altomontanos na Serra da Igreja, PR

Table 1 - Chemical properties of soils from upper montane ecosystems in Serra da Igreja, Southern Brazil

Horizonte	Prof. cm	Cor	pH CaCl ₂	Al ⁺³ H ⁺ +Al ⁺³ Ca ⁺² Mg ⁺² K ⁺					S	T	P	V	m	Ca/Mg	fator dm ³ p/ kg
				cmol _c /dm ³											
Perfil 1 – CAMPO – ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico/Sáprico típico relevo suave ondulado															
O	0-23	N2/	3,2	1,6	38,1	1,9	1,7	0,5	4,1	42,2	14,2	10	28	1,1	2,6
H	23-42	10YR 2/1	3,1	3,6	45,5	0,2	0,3	0,12	0,62	46,1	11,0	1	85	0,7	2,0
R	42+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfil 2 – CAMPO – ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico/Sáprico térrico relevo suave ondulado															
H1	0-19	N2/	3,2	1,1	29,3	0,4	1,3	0,43	2,13	31,4	11,4	7	34	0,3	2,6
H2	19-37	10YR 2/2	2,9	1,7	38,1	0,2	0,4	0,10	0,76	38,7	10,8	2	69	0,5	2,6
H3	37-48	10YR 3/2	2,9	2,2	45,5	0,1	0,5	0,12	0,72	46,2	2,2	2	75	0,2	2,0
H4	48-56	10YR 2/2	3,1	4,0	45,5	0,1	0,3	0,08	0,48	45,9	4,0	1	89	0,3	2,0
Cg	56-77+	10YR 4/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0
Perfil 3– FLORESTA – GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico O hístico textura média relevo forte ondulado															
O	0-25	N2/	3,3	1,2	32,0	1,0	1,6	0,62	3,22	35,2	35,9	9	27	0,6	2,7
Cg1	25-40	10YR 4/1	3,4	3,6	14,1	0,1	0,1	0,07	0,27	14,4	3,0	2	93	1,0	1,0
Cg2	40-55	10YR 5/3	3,6	4,4	14,1	0,1	0,2	0,06	0,36	14,5	1,7	2	92	0,5	1,0
R	55+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

No Organossolo Háplico Fíbrico/Sáprico térrico foram identificados quatro subhorizontes hísticos assentes em horizonte Cg de cor cinza escuro (10YR 4/1), com textura média e espessura maior do que 30 cm dentro de 1 m de profundidade, o que o classifica como térrico (Tabela 1). Esse ambiente redutor é causado pela permanência de saturação hídrica devido ao leve abaciamento local combinado à presença de horizontes minerais com baixa permabilidade saturada na parte inferior do perfil, retardando a saída de água do sistema (Tabelas 3 e 4). Em ambos os solos há predominância de material orgânico fíbrico herbáceo em superfície. Todos os horizontes de ambos os solos são extremamente ácidos (Tabelas 1 e 2), coincidindo

com as características de solos de demais trabalhos realizados em campos altomontanos (Vashchenko *et al.*, 2007; Wisniewski *et al.*, 2005), ou de solos associados aos complexos rupestres de altitude (Simas *et al.*, 2005; Benites *et al.*, 2003, Benites *et al.*, 2005; Benites *et al.*, 2007).

Os horizontes hísticos dos Organossolos apresentaram teores e saturações por Al extraível e CTCs maiores nas partes mais profundas dos perfis, principalmente no perfil 2 ($R_s = 1$; $p < 0,01$; Tabelas 1 e 2) devido à maior presença da fração argila no sistema (Tabela 3). As bases dos subhorizontes hísticos inferiores provavelmente foram lixiviadas, conforme sua diminuição de teores na ordem de 2 a 5 vezes com a profundidade (Tabela 2). Os níveis de P considerados de baixo a médios de acordo com Serrat *et al.* (2006) e as saturações por bases já bastante baixas em superfície diminuem significativamente com a profundidade ($R_s = - 1$; $p < 0,01$; Tabelas 1 e 2).

Solos sob Floresta Ombrófila Densa Altomontana na Serra da Igreja

Os solos representados pelo perfil 3 foram classificados como Gleissolos Háplicos Alíticos típicos (Tabela 1) por apresentarem horizontes Cg com textura média, subjacentes aos horizontes O hísticos (N2/) com menos de 40 cm de espessura e com altos teores de carbono orgânico total (408,2 g/kg). São classificados como rasos a pouco profundos, segundo EMBRAPA (2006), fato perfeitamente coerente à imposição geomórfica. Foram identificados dois subhorizontes minerais gleizados: Cg1 com cor cinza escuro 10YR 4/1 e Cg2 bruno-amarelada 10YR 5/3, indicando a ação de fluxos hídricos subsuperficiais. O relevo forte ondulado, em rampa côncava-convergente enseja a formação desses horizontes minerais através da ação combinada de processos morfogenéticos e pedogenéticos. Assim como os Organossolos situados em campos, ambos os horizontes, orgânicos e minerais, são extremamente ácidos e com baixa saturação por bases, como solos sob diversas florestas altomontanas (Roderjan, 1994, Ghani, 1996, Rocha, 1999, Portes, 2000, Vashchenko *et al.*, 2007, Wisniewski *et al.*, 2005).

O horizonte orgânico desses solos apresenta maior acidez potencial devido aos íons H^+ , provenientes dos grupos carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica (Zech *et al.*, 1997), maiores teores de bases trocáveis, de P e de CTC. Os horizontes gleizados, altamente dessaturados por bases, apresentaram os maiores valores de Al extraível e de saturação por Al (caráter alítico). Os teores de P são ligeiramente superiores no horizonte O hístico na floresta (Gleissolo) do que os hísticos superficiais dos campos (Organossolos), embora não tenham sido encontradas diferenças estatisticamente significativas. Gleissolos sob florestas altomontanas no Paraná também foram encontrados por Rocha (1999) e por Wisniewski *et al.* (2005), porém não foram os solos predominantes nesses levantamentos.

Tabela 2 - Propriedades químicas dos horizontes superficiais e subsuperficiais em ecossistemas altomontanos na Serra da Igreja, PR (n = 5). Valores entre parênteses representam o erro padrão

Table 2 - Chemical properties of soils from upper montane ecosystems in Serra da Igreja, Southern Brazil (n = 5). Values between parenthesis are the standard errors

Horizonte	Profundidade cm	Cor	pH CaCl ₂	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	S	T	P	V	m	Ca/Mg	fator
				cmol _c /dm ³						mg/dm ³	%	%	p/ kg		
CAMPO – Organossolos															
O/H1	0-20	N2/	3,2 a (0,0)	1,4 a (0,1)	40,8 b (3,2)	1,8 b (0,4)	1,9 c (0,2)	0,6 c (0,1)	4,3 c (0,6)	45,0 b (3,8)	18,3 c (3,1)	9,4 b (0,8)	26,2 (2,5)	0,9 a (0,2)	2,6
H2	20-40	10YR	3,1 a (0,0)	2,8 b (0,3)	44,0 b (1,5)	0,5 a (0,1)	0,4 b (0,1)	0,2 b (0,1)	1,2 b (0,3)	45,2 b (1,6)	10,1 b (1,2)	2,6 a (0,6)	70,6 (4,9)	1,3 a (0,3)	2,0
FLORESTA – Gleissolos															
O	0-20	N2/	3,0 a (0,1)	1,8 ab (0,3)	42,8 b (2,7)	1,2 b (0,1)	1,7 c (0,2)	0,6 c (0,1)	3,5 c (0,3)	46,3 b (2,8)	23,3 c (4,0)	7,6 b (0,6)	33,8 (2,7)	0,8 a (0,1)	2,7
Cg	20-40	10YR	3,4 b (0,0)	4,8 c (0,9)	16,8 a (2,1)	0,3 a (0,1)	0,1 a (0,0)	0,1 a (0,0)	0,5 a (0,1)	17,3 a (2,2)	1,9 a (0,2)	3,0 a (0,4)	89,9 (2,1)	3,2 b (0,8)	1,0

As médias seguidas pela mesma letra na vertical correspondem a medianas que não diferem estatisticamente ao nível de ($p < 0,05$) pelo teste U de Mann-Whitney (Wilcoxon)

Diferenças encontradas entre solos das florestas e dos campos altomontanos

Os solos que constituem os ecossistemas altomontanos na Serra da Igreja são distróficos e apresentam alta saturação por alumínio trocável. A baixa fertilidade encontrada em solos de ambientes altomontanos é relacionada à perda de nutrientes por lixiviação, pela elevada drenagem e pelo baixo conteúdo de nutrientes no material parental (Benites *et al.*, 2007). Segundo o autor, a acidez favorece a dissolução de caolinita e de aluminossilicatos e o Al satura o complexo de troca.

Conforme já comentado, as altas CTCs e acidez potenciais nos horizontes superficiais evidenciam que a maior parte das cargas negativas são provenientes de compostos orgânicos (Simas *et al.*, 2005). A ciclagem de nutrientes é essencial, pois conforme pode ser visualizado na Tabela 1 (teores de Ca - baixos a muito baixos e de Mg e K muito altos), as maiores quantidades de nutrientes estão nos horizontes orgânicos superficiais (Benites *et al.*, 2007) e um mecanismo para reduzir perdas é a formação de um sistema com alta densidade de raízes (Zech *et al.*, 1997; Simas *et al.*, 2005), o qual aumenta a eficiência na absorção de hidrossolúveis. Apesar das altas saturações por Al, grande parte desse elemento está complexada com a matéria orgânica, controlando os níveis na solução desses solos extremamente ácidos e evitando sua toxicidade para as plantas (Stevenson, 1982; Pavan, 1983; Zech *et al.*, 1997; Simas *et al.*, 2005; Don *et al.*, 2007).

A gênese processada em hidromorfias sazonais desses solos está condicionada ao fator altitude, onde se verificam temperaturas baixas e neblina frequente, causando acúmulo de matéria orgânica pela baixa taxa de mineralização (Rocha, 1999), além de elevado índice pluviométrico. O acúmulo de materiais orgânicos sobrepuja a taxa de decomposição, pois apesar de haver transformação biológica, ao mesmo tempo, há a preservação de níveis consideráveis de carbono orgânico na forma humificada (Ghani, 1996).

De acordo com os levantamentos já realizados nos campos altomontanos no Paraná, parecem predominar Neossolos Litólicos hísticos e Organossolos, ambos solos com horizontes hísticos, sem a presença de horizontes minerais ou com sua ocorrência

somente após os 40 cm de profundidade. Conforme já comentado, a espessura do horizonte hístico maior do que 20 cm sem horizonte mineral dentro dos 40 cm (Organossolos) parece dificultar o estabelecimento físico de indivíduos arbóreos com porte maior do que 1 m, ou suas raízes não conseguem competir com a alta densidade de raízes das espécies típicas de campo na busca por espaço e nutrientes. A gênese ascensional dos horizontes históricos, principalmente os fíbricos (em alguns casos alcançando mais do que 50 cm de profundidade), aliada à exposição aos ventos fortes nas cumeeiras aguçadas do campo estudado, parece não permitir o crescimento e o estabelecimento de indivíduos arbóreos de maior porte para propiciar o avanço da floresta altomontana. Se mudanças climáticas futuras resultarem num aumento da temperatura média anual e diminuição na precipitação pluviométrica na região, tais campos altomontanos correm o risco de desaparecer ou de perder grande parte de sua área para as florestas devido à oxidação, contração e consequente erosão dos horizontes históricos.

Mais áreas altomontanas devem ser investigadas para se saber se a floresta já alcançou seu limite máximo de expansão sobre os campos altomontanos no Holoceno tardio. Em solos associados aos complexos rupestres de altitude na região Sudeste do Brasil, Benites *et al.* (2007) constataram que, com o desenvolvimento da paisagem, algumas turfeiras (Organossolos) secam suficientemente pelo estabelecimento de um sistema de drenagem, propiciando o crescimento de vegetação florestal, mas mantendo os grandes estoques de C. A fragilidade dos ecossistemas altomontanos é agravada pelo impacto de trilhas e acampamentos. Foi observado em serras vizinhas com maior visitação que, em períodos de estiagem, embora muito pouco comuns, os ambientes altomontanos apresentam alta susceptibilidade a incêndios antrópicos. Isso se deve à grande quantidade de material com alto grau de combustibilidade, implicando em enorme risco de perda desses ambientes e de suas funcionalidades ambientais.

Os horizontes históricos dos Organossolos abaixo dos 20 cm já apresentam mudanças químicas consideráveis em relação aos horizontes minerais encontrados em solos sob floresta altomontana (Tabelas 1 e 2). No entanto, os Organossolos Fólicos Sápricos líticos foram caracterizados por Rocha (1999) em florestas altomontanas,

porém, relativamente pouco desenvolvidas (com altas densidades e baixas áreas basais), apresentando horizonte hístico entre 20 e 35 cm de profundidade. Como nos trabalhos de Roderjan (1994) e Rocha (1999), também foram encontradas estruturas grumosas de matriz sáprica entre raízes finas. Segundo Rocha (1999), tais estruturas podem ser observadas com maior facilidade em relevos mais declivosos, onde as árvores, à medida que envelhecem, vão se curvando e, com isto, suspendendo seu sistema radicial, formando espaços vazios entre o solo e a rocha abaixo. Esses espaços e as maiores declividades proporcionam uma melhor drenagem e consequente aeração, propiciando o avanço da floresta sobre os campos. Roderjan (1994) e Rocha (1999) também observaram Cambissolos e Rocha (1999), também detectou Argissolos e Gleissolos em vales com maior coluvionamento, apresentando florestas altomontanas relativamente com baixas densidades e altas áreas basais. O caráter epigleico descrito por esses trabalhos, limita o desenvolvimento da floresta, resultando em baixas densidades e áreas basais. Portes (2000), Roderjan (1994) e Vashchenko *et al.* (2006) encontraram Neossolos Litólicos húmicos em situações de rampas convexas divergentes em encostas altomontanas na Serra do Mar no Paraná. Os horizontes minerais (A húmico ou C) desses solos parecem promover uma maior agregação mecânica resultando numa maior capacidade de sustentação das árvores do que os Neossolos Litólicos hísticos (Portes, 2000), mais comuns em campos altomontanos (Vashchenko *et al.*, 2006).

Corroborando isso, Vashchenko *et al.* (2007) observaram que, apesar dos Neossolos Litólicos distróficos típicos e os Neossolos Litólicos húmicos típicos apresentarem maior saturação por alumínio trocável e menor saturação por bases, a presença de horizonte mineral com maiores teores de argila parecem ser os principais fatores que favorecem a prevalência da floresta altomontana sobre os campos altomontanos nos trechos amostrados nos picos Camacua, Camapuã e Tucum, a 40 km ao norte da área estudada. No entanto, conforme já comentado, florestas sobre horizontes hísticos pouco espessos diretamente sobre rocha - Neossolos Litólicos hísticos (≤ 20 cm) com inclusão de Organossolos Fólicos com poucos centímetros a mais do que o solo anterior constituem a base de florestas altomontanas, porém de

pequeno porte, com altas densidades e baixas áreas basais (Roderjan, 1994; Rocha, 1999).

Estoques de carbono nos solos

Os estoques de carbono nos solos do campo altomontano, incluindo os dados dos perfis (Tabela 3) e das tradagens, variaram de 274,3 a 410,6 t C/ha (média mais erro padrão: $314,7 \pm 17,2$ t C/ha). Na floresta altomontana os estoques variaram de 190,1 a 233,4 t C/ha ($217,2 \pm 10,3$ t C/ha), sendo estatisticamente maiores no campo do que na floresta (teste *U*; $p < 0,05$) (Tabela 4). A confiabilidade desses resultados pode ser verificada através de 52 tradagens de levantamento prévio em toda a cumeeira estudada (dados não publicados), onde a média de profundidade dos horizontes hísticos foi muito próxima ($54 \pm 3,7$ cm) à utilizada nas estimativas apresentadas acima.

Segundo levantamento realizado no Paraná por PRÓ-ATLÂNTICA (2002), os campos altomontanos e a Floresta Ombrófila Densa Altomontana ocupam atualmente 1627 e 5760 ha, respectivamente. Apesar dos solos sob campo altomontano estocarem maiores teores de carbono do que os solos sob floresta altomontana, devido à maior área destes, acabam por imobilizar mais carbono no solo ($1,25 \times 10^6$ t; Mt = megatoneladas) do que aqueles ($0,54 \times 10^6$ t). No entanto, para uma estimativa mais precisa desses estoques, são necessários mais levantamentos, pois são muito comuns diferenças significativas nos estoques de carbono encontradas nos solos em diferentes exposições, posições topográficas e materiais parentais numa mesma montanha (Yimer *et al.*, 2006; Garcia-Pausas *et al.*, 2007). Através de estimativa por fotos horizontais e aéreas de 1980 do Instituto de Terras e Cartografia (ITC-PR), obteve-se uma área de aproximadamente 8 ha de campos altomontanos na Serra da Igreja, distribuídos em pelo menos 18 pequenos fragmentos, encravados em ambientes sob dominância da floresta altomontana. Com base no levantamento do PRÓ-ATLÂNTICA (2002), foi estimada uma área de pelo menos 400 ha para a floresta altomontana. Isso corresponde

a aproximadamente 2518 t e 86880 t de C estocadas nos solos dos campos e florestas altomontanas da Serra da Igreja, respectivamente. No entanto, ressalta-se que no presente trabalho foram estimados apenas os potenciais de estoques de carbono, sendo necessárias estimativas em escalas de maior detalhe, considerando a dificuldade de mapear inúmeros outros pequenos fragmentos de campos e de separar as florestas montanas, das altomontanas, da sua transição, dos afloramentos de rocha e da vegetação rupestre, bem como considerar demais tipos de solos.

Apesar de apresentarem teores de carbono pelo menos 10 vezes menores do que os dos horizontes hísticos, os horizontes minerais gleizados dos Gleissolos da floresta altomontana possuem quase a metade do estoque de carbono do solo (48%). Essa compensação deve-se às densidades do solo 10 vezes superiores às dos horizontes hísticos (Tabela 3). Nos campos, somente os Organossolos Háplicos sápricos térricos apresentaram contribuição significativa dos horizontes gleizados para o estoque de carbono total do solo (em média 28%). Os horizontes gleizados dos demais Organossolos mostraram uma pequena contribuição, entre 0 e 5% (Tabela 3).

Ambos os valores, principalmente os dos campos, podem ser considerados altos, pois são da mesma magnitude dos estoques de carbono encontrados por Yimer *et al.* (2006), em florestas nas Montanhas Bale, na Etiópia, em altitudes muito mais elevadas (de 2390 a 3580 m s.n.m.) e em temperaturas médias anuais um pouco menores do que as do presente estudo (entre 9,2 e 12,1 °C), porém em baixas latitudes e baixa precipitação anual, conforme Tabela 3. Os valores calculados para os campos altomontanos na Serra da Igreja são mais do que o dobro dos encontrados por Garcia-Pausas *et al.* (2007) em campos alpinos e subalpinos com altitudes e latitudes superiores às do presente estudo, precipitação similar e temperaturas médias anuais entre -0,7 e 5 °C (Tabela 3). Neste caso, as baixas temperaturas devem resultar em uma menor produtividade primária e, conseqüentemente, em um menor acúmulo de matéria orgânica no solo do que as áreas do presente estudo.

Reservas de carbono muito menores aos do presente trabalho (entre 48 e 86 t C/ha; Tabela 3) foram encontradas em campos manejados na Alemanha, com baixas temperaturas e precipitação média anual (Don *et al.*, 2007).

Os estoques de carbono no solo para os principais sítios da Floresta Amazônica (Batjes & Dijkstra, 1999; Britez *et al.*, 2006; Filho *et al.*, 2007) também são várias vezes menores aos do presente estudo, provavelmente devido às altas temperaturas e precipitações, as quais favorecem a rápida decomposição com menores taxas de humificação. Porém, sobre Organossolos, Batjes & Dijkstra (1999) estimaram valores muito maiores aos deste estudo, certamente devido à baixa decomposição por se tratar de solos hidromórficos e pela consideração de valores médios de densidade superiores.

Os solos altomontanos ora estudados estocam mais carbono do que solos em diversas formações nativas em altitudes mais baixas na mesma latitude, muitos deles com maior produtividade primária, conforme dados de Britez *et al.* (2006) e Balbinot (2009), presentes na Tabela 4.

Comparações com os estoques de carbono na biomassa acima do solo em florestas

Os valores médios de carbono estocado no solo dos campos altomontanos e das florestas altomontanas na Serra da Igreja (314,7 e 217,2 t C/ha, respectivamente) são superiores às maiores estimativas dos estoques para a fitomassa da própria Floresta Ombrófila Densa Submontana (em torno de 200 t C/ha, média próxima a 120 t C/ha), formação que apresenta uma das maiores biomassas acima do solo (Vieira *et al.*, 2008, Tiepolo *et al.*, 2002). Britez *et al.* (2006), com base em dados de diversos inventários fitossociológicos, estimaram as seguintes médias de estoques de carbono acima do solo: 109 t C/ha para Floresta Estacional Semidecidual, 153 t C/ha para a Floresta Ombrófila Densa, 26 t C/ha para seu estágio inicial, 82 t C/ha para o estágio médio e 119 t C/ha para o avançado de sucessão secundária, 129 t C/ha para a Floresta Ombrófila Densa Aluvial, 105 t C/ha para as Terras Baixas, 73 t C/ha para Formações Pioneiras de Influência Marinha, 81 t C/ha para Formações Pioneiras de Influência “Flúvial” e 97 t C/ha para a Floresta Ombrófila Mista. Novamente, tais informações relevam a grande importância dos estoques de carbono nos solos dos ecossistemas

altomontanos, considerando que o solo do campo tem a capacidade média de estocar mais do que o dobro do estoque presente na biomassa viva acima do solo da Floresta Ombrófila Densa, a qual, possivelmente, apresenta a maior produtividade primária entre as formações citadas acima.

Tabela 3 - Médias das propriedades físico-hídricas dos solos de perfis em ecossistemas altomontanos na Serra da Igreja (n = 2-3)

Table 3 - Physical and hydrological properties of soils from upper montane ecosystems in Serra da Igreja, Southern Brazil

Horizonte	Espessura cm	Argila ***	Porosidade (%)			Água disponível	Permeabilidade saturada	C total %	Densidade do solo	Estoque de carbono kg/m ²
		g/kg	Total	Macro	Aeração	(%)	cm/h		kg/dm ³	
Perfil 1 – CAMPO – ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico/Sáprico típico relevo suave ondulado										
O	23	100	90,5	33,2	33,6	8,9	537,0	46,27	0,132	14,05
H	19	150	94,4	9,3	10,0	4,2	2,1	43,20	0,171	14,04
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,08
										(31,5 ± 1,7)*
Perfil 2 – CAMPO – ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico/Sáprico térrico relevo suave ondulado										
H1	19	100	95,6	30,6	31,0	5,7	150,6	43,64	0,080	6,63
H2	18	125	95,2	18,9	19,6	3,7	190,4	45,37	0,077	6,29
H3	11	125	95,8	25,7	27,1	8,7	13,9	48,42	0,070	3,73
H4	8	150	99,0	22,1	22,9	4,2	6,6	47,02	0,085	3,20
Cg	30	250	63,4**	8,7**	9,6**	3,9**	6,9**	2,49**	1,014**	7,59
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,43
										(31,5 ± 1,7)*
Perfil 3 – FLORESTA – GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico O hístico textura média relevo forte ondulado										
O	25	125	93,1**	31,9**	32,3**	7,3**	343,8**	40,82	0,106**	10,82
Cg1	15	150	63,4	8,7	9,6	3,9	6,9	4,66	0,854	5,97
Cg2	15	550	50,8	6,9	8,0	4,5	2,1	2,49	1,174	4,39
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,17
										(21,7 ± 1,0)*

*Médias mais erros padrão extrapolando-se para todos os pontos amostrados

**Valores estimados com base nos horizontes com características aparentemente similares

***Estimativas de análises granulométricas com limitações para os horizontes hísticos devido ao alto teor de matéria orgânica

Tabela 4 - Estoques de carbono no solo em diferentes ecossistemas florestais e campestres

Table 4 - Soil carbon stocks in different forests and grasslands

<i>Cont.</i>								
Local	Coord. (Aprox.)	Altitude (m s.n.m.)	Solo/Litologia	Vegetação	Temp. média anual (°C)	Precip. (mm)	Estoque de C (t/ha ± Erro padrão)	Autor
Mehestedt, Alemanha	51°17'N; 10°39'E	280	Vertissolos; Calcário	Campos manejados	8,0	550	86 ± 1,7	Don <i>et al.</i> (2007)
Kaltenborn, Alemanha	50°47'N; 10°14'E	335	Neossolos Quartzarênicos; Arenito	Campos manejados	8,0	650	48 ± 1,3	Don <i>et al.</i> (2007)
		2390-2800	“Andossolos”; Rochas vulcânicas	Floresta Afromontana	12,1	985	326 ± 2,2	Yimer <i>et al.</i> (2006)
Montanhas Bale, Etiópia	6°45'N; 39°45'E	2800-3250	“Andossolos”; Rochas vulcânicas	Floresta Afromontana	9,2 a 12,1	985	364 ± 2,2	Yimer <i>et al.</i> (2006)
		3580+	“Andossolos”; Rochas vulcânicas	Fisionomia arbustiva Subalpina	9,2	985	460 ± 2,2	Yimer <i>et al.</i> (2006)
Montes Pirineus, França e Espanha	42°50'N; 0°40'S	1845-2900	Granitos e Ardósias e calcários	Campos alpinos e subalpinos	-0,7 a 5	1416 a 1904	153 ± 0,9	Garcia-Pausas <i>et al.</i> (2007)
Diversos	-	-	1m	Florestas tropicais	-	-	186 ± 104**	Jobbagy & Jackson (2000)
Diversos	-	-	1 m	Campos tropicais e Cerrados	-	-	132 ± 87**	Jobbagy & Jackson (2000)
	-	-	Principais solos minerais (Lato, Argi, Cambi, Gleissolos, etc.)		-	-	98	Batjes & Dijkuboorn (1999)
Região Amazônica, Brasil	-	-	Neossolo Quartzarênico	Florestas	-	-	40	Batjes & Dijkuboorn (1999)
	-	-	Organossolo		-	-	724	Batjes & Dijkuboorn (1999)

Cont.

Local	Coord. (Aprox.)	Altitude (m s.n.m.)	Solo/Litologia	Vegetação	Temp. média anual (°C)	Precip. (mm)	Estoque de C (t/ha ± Erro padrão)	Autor
Juruema, Amazônia, Brasil	10°28'S; 58°28'W	260	Complexo Xingu, Argi e Latossolo	Floresta Ombrófila Densa	24	2200	60 ± 10,3	Novaes-Filho et al (2007)
Região Amazônica	-	-	-	Floresta Ombrófila Densa	-	-	103	
	-	-	-	Campo Natural	-	-	79	
Compilação de diversos trabalhos, no Sul e Sudeste do Brasil	-	-	-	Floresta Ombrófila Mista	-	-	71	Britez et al. (2006)
	-	-	-	Floresta Ombrófila Densa	20,9	-	61	
	-	-	-	Floresta estacional Semidecidual	-	-	37	
				Pastagem			98,5 ± 15,4**	
				Herbáceo			118,5 ± 14,1**	
Reserva Cachoeira, Antonina, PR, Brasil	29°19'S; 48°42'W	20	Cambissolos Háplicos	FODSub inicial	20,9	2400	113,7 ± 17,8**	Balbinot (2009)
				FODSub médio			100,7 ± 18,1**	
				FODSub avançado			102,0 ± 19,1	
		1335	Organossolos; Granito	Campo altomontano	13,4	> 2000	314 ± 17,2	Este estudo*
Serra da Igreja, PR, Brasil	25°36'S; 48°51'W	1325	Gleissolos; Granito	Floresta Ombrófila Densa Altomontana Atlântica	13,4	> 2000	217 ± 10,3	Este estudo*

*Calculados a partir de resultados de análises de amostras dos horizontes coletados através da abertura de perfis e da extrapolação para pontos tradados onde obteve-se as espessuras desses horizontes (n = 7 para o campo e 4 para a floresta).

** desvio padrão

Estoque potencial de água

Os horizontes superficiais hísticos apresentam alta permeabilidade saturada (até 537 cm/h; Tabela 3). No entanto, à medida que a água permeia os horizontes subjacentes, principalmente o hístico mais profundo (sáprico) no caso dos Organossolos e dos horizontes gleis nos Gleissolos, há brusca diminuição da permeabilidade (2 a 6 cm/h), favorecendo maior “retenção hídrica” no volume. Nos perfis abertos em Organossolos foi possível, por diferenças das cores de N2/ para 10YR 2/1 a 10YR 3/2, perceber fluxos hídricos laterais de subsuperfície nos horizontes hísticos subsuperficiais (hêmicos e sápricos).

A permeabilidade muito alta dos horizontes superficiais deve-se às suas características fíbricas, as quais possuem as menores densidades (0,132 a 0,08 kg/dm³), maior macroporosidade e aeração, bem como, provavelmente, ótima conectividade dos poros. Apesar da grande capacidade de retenção hídrica dos horizontes hísticos, os teores de água disponível são baixos (Tabela 3).

Os horizontes gleis dos Gleissolos apresentaram menores porosidades totais, além de menor percentual de macroporos, o que incorre em menor capacidade de aeração e diminuição da permeabilidade saturada, fato relacionado à mudança de textura e estrutura dos horizontes (Tabela 3).

Segundo Machado & Favaretto (2006), o aumento da disponibilidade de água em solos com maiores teores de matéria orgânica deve-se à influência dessa na estrutura do solo e não da água retida no material orgânico. A matéria orgânica apresenta elevada umidade na capacidade de campo, porém a umidade no ponto de murcha também aumenta proporcionalmente.

A retenção hídrica máxima (umidade de saturação em volume) pode ser considerada a porosidade total do solo. No entanto, a saturação por água de todos os espaços porosos pode não ocorrer plenamente, pois alguns microporos podem permanecer com ar, mesmo após o processo de saturação (Machado & Favaretto 2006).

Uma simples estimativa da capacidade de armazenamento de água, pode ser calculada através da umidade volumétrica, obtida pela diferença entre a porosidade total e a porosidade de aeração (Prevedello, 1996). Considerando que pelo menos 95% dos horizontes hísticos dos Organossolos são poros (Tabela 3) e que a profundidade média é de 58 cm e sua umidade volumétrica é de 59%, significa que cada metro quadrado de solo pode reter 342,2 litros de água (3422 m³/ha). Isso significa que a fase sólida dos horizontes hísticos dos Organossolos dos campos altomontanos retêm aproximadamente 12 vezes (6 a 16) seu volume em água e isso deve-se, principalmente à sua estrutura.

Tais resultados indicam uma alta capacidade dos solos altomontanos de retenção de água e regulação dos fluxos hídricos nas cabeceiras de bacias hidrográficas e estão dentro dos valores apresentados por (Soil Survey Staff 1992) em que o material orgânico fíbrico é o que possui a maior capacidade de armazenar água; de 8,5 a 30 vezes seu peso seco, enquanto que o hêmico retém de 4,5 a 8,5 vezes e o sáprico até 4,5 vezes.

CONCLUSÕES

Como para demais trabalhos em ecossistemas altomontanos das regiões Sul e Sudeste do Brasil, os solos da Serra da Igreja são distróficos, extremamente ácidos, apresentam alta saturação por Al trocável e altos teores de carbono orgânico total. As florestas estão fortemente estabelecidas por controle estrutural de vales e colos relacionados a maior ação de processos morfogenéticos, os quais resultam em solos com horizontes minerais e maiores acúmulos de argila, como os Gleissolos encontrados no presente estudo. Já os campos altomontanos, estão estabelecidos em topos aplainados com quebra de relevo abrupta em relação aos colos, os quais os processos pedogenéticos promoveram maiores espessuras de horizontes hísticos, formando Organossolos. Os estoques de carbono por unidade de área nos solos dos campos são superiores aos das florestas altomontanas, sendo ambos considerados

altos, comparados aos de outros ecossistemas disponíveis na literatura, bem como superiores aos estoques estimados para a biomassa aérea de florestas submontanas, as quais apresentam alta produtividade primária. O alto potencial de armazenamento hídrico devido à sua porosidade total verificada nos horizontes hísticos e a capacidade de filtro pelo alto conteúdo de material orgânico, também devem ser reconhecidos como importantes funcionalidades desses ambientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, B.J.R., OLIVEIRA, O.C., BODDEY, R.M. & URQUIAGA, S. 2008. Métodos isotópicos. In Fundamentos da matéria orgânica dos solos: ecossistemas tropicais e subtropicais (Gabriel de A. Santos, Leandro S. da Silva, Luciano P. Canellas & Flávio A.O. Camargo, eds). Metrópole Editora, Porto Alegre, p.65-86.
- ANJOS, L.H.C., PEREIRA, M.G. & FONTANA, A. 2008. Matéria orgânica e pedogênese. In Fundamentos da matéria orgânica dos solos: ecossistemas tropicais e subtropicais (Gabriel de A. Santos, Leandro S. da Silva, Luciano P. Canellas & Flávio A.O. Camargo, eds). Metrópole Editora, Porto Alegre, p.65-86.
- ARTEAGA, G. A., CALDERÓN, N. E. G., KRASILNIKOV, P. V., SEDOV, S. N., TARGULIAN, V. O. & ROSAS, N. V. Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juárez, Southern Mexico. *Geoderma*, 144:593-612, 2008.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47:151-163, 1996.
- BATJES, N.H. & DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region. *Geoderma*, 89:273–286, 1999.

BECKER, A., KÖRNER, C., BRUN, J., GUIBAN, A. & TAPPEINER, U. Ecological and land use studies along elevational gradients. *Mt. Res. Dev.*, 27(1):58-65, 2007.

BENITES, V.M., CAIAFA, A.N., MENDONÇA, E.S., SCHAEFFER, C.E.G.R. & KER, J.C. Solos e vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Revista Floresta e Ambiente*, 10:76-85, 2003.

BENITES, V. M., MENDONÇA, E. S., SCHAEFER, C. E. G. R., NOVONTNY, E. H., REIS, E. L. & KER, J. C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, 127:104-113, 2005.

BENITES, V. M., SCHAEFER, C. E. G. R., SIMAS, F. N. B. & SANTOS, H. G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasil. Bot.*, 30(4): 569-577, 2007.

BERNOUX, M., CARVALHO, M. C. S., VOLKOFF, B. & CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:888-896, 2002.

BRITEZ, R. M., BORGIO, M., TIEPOLO, G., FERRETI, A., CALMON, M. & HIGA, R. Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do sul do Brasil. Colombo, Embrapa Florestas, 2006.

BRUIJNZEEL, L.A. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. In: *PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL COLLOQUIUM*. J.S. Gladwell, ed. Anais. Paris, UNESCO, 2000. p.353-383.

BRUIJNZEEL, L.A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agr. Ecosyst. Environ.*, 104:185-228, 2004.

CORDANI, V.G. & GIRARDI, V. A. V. Geologia da folha de Morretes. *Boletim da Universidade Federal do Paraná. Geologia*, 26:1-40, 1967.

DON, A., SHUMACHER, J., SHERER-LORENZEN, M., SCHOLTEN, T. & SCHULZE, E. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites – Implications for measuring soil carbon stocks. *Geoderma*, 141:272-282, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, CNPS, 1997. 212p.

FILHO, J. P. N., SELVA, E. C., COUTO, E. G., LEHMANN, J., JOHNSON, M. S. & RIHA, S. J. Distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na Amazônia meridional. *Sociedade de Investigações Florestais*, 31(1):83-92, 2007.

GARCIA-PAUSAS, J., CASALS P., CAMARERO LL., HUGUET C., SEBASTIÀ M. A. T., THOMPSON R. & ROMANYÀ J. Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography. *Biogeochemistry*, 82: 279-289, 2007.

GHANI, N.L.B. Caracterização morfológica, física, química, mineralógica, gênese e classificação de solos altimontanos derivados de riólito e migmatito da Serra do Mar – PR. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. 1996. 174p. (Dissertação de Mestrado)

HAMILTON, L.S., JUVIK, J.O. & SCATENA, F.N. 1995. The Puerto Rico tropical cloud forest symposium: introduction and workshop synthesis In: HAMILTON, L. S., JUVIK, J. O. & SCATENA, F. N. Tropical montane cloud forests. New York, Springer Verlag, 1995. p.1-23.

JOBBÁGY, E. G. & JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10(2):423-436, 2000.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, Imprensa Oficial, 2002. 440p.

MARTÍNEZ, M. L., PÉREZ-MAQUEO, O., VÁZQUEZ, G., CASTILLO-CAMPOS, G., GARCÍA-FRANCO, J., MEHLTRETER, K., EQUIHUA, M. & LANDGRAVE, R. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecol. Manage.*, 258(9):1856-1863, 2009.

MELO, M.S., GIANNINI, P.C.F. & PESSEDA, L.C.R. Gênese e Evolução da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR. *Revista do Instituto Geológico*, 21(1/2):17-31, 2000.

MINEROPAR MINERAIS DO PARANÁ S.A. Atlasgeo.pdf. Atlas geológico do estado do Paraná. Curitiba, 2001.

MOCOCHINSKI, A.Y. & SCHEER, M.B. Campos de altitude na serra do mar paranaense: aspectos florísticos. *Revista Floresta*, 38(4):625-640, 2008.

MACHADO, M.A. DE M. & FAVARETTO, R. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: LIMA, M.R. *et al.*, eds. *Recomendações de Manejo do Solo: Aspectos Tecnológicos e Metodológicos*, Curitiba: UFPR, 2006. p. 233-254.

MORISADA, K., ONO, K. & KANOMATA, H. Organic carbon stock in forest soils in Japan. *Geoderma*, 119(1-2):21-32, 2004.

PORTES, M. C. G. de O. Deposição de serapilheira e decomposição foliar em floresta ombrófila densa altomontana, Morro Anhangava, Serra da Baitaca, Quatro Barras – PR. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. 2000. 90 p. (Dissertação de Mestrado)

VASHCHENKO, Y. Caracterização da trilha e o impacto do montanhismo nos Picos Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. 2006. 79p. (Dissertação de Mestrado)

Programa de Proteção da Floresta Atlântica - PRÓ-ATLÂNTICA. 2002. Projeto Carta Geológica. Cartas: MI-2844-2 Ariri, MI-2843-1 Represa do Capivari, MI-2843-3 Morretes, MI-2858-1 Mundo Novo e MI-2858-3 Pedra Branca do Araraquara. Escala 1:50000. SEMA, Curitiba.

RINGROSE, S., MATHESON, W. & VANDERPOST, C. Analysis of soil organic carbon and vegetation cover trends along the Botswana Kalahari Transect. *J. Arid Environ*, 38:379-396, 1998.

ROCHA, M.R.L. Caracterização fitossociológica e pedológica de uma floresta ombrófila densa no parque estadual do pico do Marumbi – Morretes, PR. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. 1999. 80p. (Dissertação de Mestrado)

RODERJAN, C.V. A floresta ombrófila densa altomontana no morro Anhangava, Quatro Barras, PR: aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1994. 119p. (Tese de Doutorado)

RODERJAN, C.V. & GRODSKI, L. Acompanhamento meteorológico em um ambiente de Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro Anhangava, Mun. De Quatro Barras – PR, no ano de 1993. *Cadernos da Biodiversidade*, 2(1):27-34, 1999.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. Viçosa, SBCS, 2005. 92 p.

SCHEER, M.B. & MOCOCHINSKI, A.Y. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. 2009. *Biotaneotropica*, 9(2): <http://www.biotaneotropica.org.br/v9n2/en/abstract?article+bn00609022009>.

SCHEER, M.B.; MOCOCHINSKI, A.Y. & RODERJAN, C.V. Estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná (Capítulo II deste trabalho).

SERRAT, B.M., KRIEGER, K.I. & MOTTA, A.C.V. Considerações sobre a interpretação de análise de solos (com exemplos). In: LIMA, M.R. *et al.*, eds. *Recomendações de Manejo do Solo: Aspectos Tecnológicos e Metodológicos*. Curitiba: UFPR Curitiba, 2006. p.125-143.

SILVA, A.C., HORÁK, I., CORTIZAS, A.M., VIDAL-TORRADO, P., RACEDO, J. R., GRAZZIOTTI, P.H., SILVA, E.B. & FERREIRA, C.A. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional-MG: I – caracterização e classificação. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1385-1398, 2009.

SIMAS, F. N. B., SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES, E. I., CHAGAS, A. C. & BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. *Geoderma*, 125:187-201, 2005.

SOIL SURVEY STAFF. *Keys to soil taxonomy*. 5. ed. Virginia, Ed. Pocahontas Press, 1992. 541p

VASHCHENKO, Y. *Caracterização da trilha e o impacto do montanhismo nos Picos Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR*. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. 2006. 79p. (Dissertação de Mestrado)

VASHCHENKO, Y.; PIOVESAN, R.P; LIMA, M.R & FAVARETTO N. Solos e Vegetação dos Picos Camacuã, Camapuã e Tucum – Campina Grande Do Sul-PR. *Scientia Agraria*, 8(4):411-419, 2007.

VOLKOFF, B., CERRI, C. C. & MELFI, A. J. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campos de altitude dos estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 8:277-283, 1984.

WANG, S., SHAO, M., MICKLER, R., JI, K.J. Vertical distribution of soil organic carbon in China. *Environ. Manage.*, 33(Supplement):200-209, 2004.

WISNIEWSKI, C., TEMPESTA, P. B. & RODRIGUES, V. M. R. Solos e vegetação em uma topossequência do morro Mãe Catira, alto da Serra da Graciosa, Morretes PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005. Recife. Anais. Viçosa, MG: SBCS, 2005.

YIMER, F., LEDIN, S & ABDLKADIR, A. Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by topographic aspect and vegetation in the Bale Mountains, Ethiopia. *Geoderma*, 135:335-344, 2006.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, K.; MILTNER, A.; MIANO, T.M. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralizing of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.

CAPÍTULO IV

OCUPAÇÃO HOLOCÊNICA POR FITOTIPIAS ALTOMONTANAS EM CUMEEIRAS DA SERRA DA IGREJA, NO PARANÁ

HOLOCENE OCCUPATION OF UPPER MONTANE CLOUD FOREST/HIGH ALTITUDE GRASSLAND MOSAIC IN SERRA DA IGREJA, SOUTHERN BRAZIL

RESUMO

Este estudo foi realizado em uma sequência amostral, em forma de transecto, passando por cumeeira aguçada, coberta por campo altomontano sobre Organossolos (1335 m s.n.m), e por um colo (ponto de sela), onde a floresta altomontana sobre Gleissolos alcança seu patamar mais alto (1325 m s.n.m) em montanha na Serra da Igreja, no Paraná. O objetivo foi verificar indícios de como a ocupação do ambiente por vegetação florestal e campestre foi influenciada pelas mudanças climáticas durante o final do período Quaternário. Para tanto foram realizadas análises isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$) da matéria orgânica de horizontes do solo e datações por ^{14}C da fração humina. Das seis datações pelo método AMS, a mais antiga (2625 anos AP) foi observada no horizonte hístico mais profundo (entre 30 e 40 cm de profundidade), próximo ao contato lítico no perfil mais raso de solo no campo altomontano. A única datação na floresta, no horizonte glei imediatamente abaixo do hístico (entre 25 e 35 cm) revelou idade de apenas 900 anos AP. Todos os valores de $\delta^{13}\text{C}$ revelaram valores indicativos de plantas C_3 (indicativas de florestas e de campos ombrófilos), tanto nos horizontes dos solos do campo quanto nos solos na floresta. Apesar da Serra da Igreja certamente apresentar campos altomontanos provenientes do final do Pleistoceno, como em outros estudos no sul e sudeste do Brasil, os sítios estudados, pela sua posição no relevo, são, pelo menos, do início do Holoceno tardio, quando condições de maior umidade propiciaram a colonização/recolonização das cumeeiras da Serra da Igreja, coincidindo com o período, frequentemente documentado na literatura, de avanço de florestas sobre campos e cerrados.

Palavras-chave: Campo Altomontanos, Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Datações por ^{14}C , Isótopos de C, Quaternário.

ABSTRACT

This study was conducted in a transect along a sharp ridge covered by a high altitude grassland on Histosols (1335 m asl), and a mountain pass (saddle) in Serra da Igreja, in Paraná, southern Brazil, where the upper montane forests on Gleysols reach their highest level (1325 m asl). The study aimed at finding evidences on how climate changes during the late Quaternary period influenced the occupation of the upper montane vegetation. Therefore, $\delta^{13}\text{C}$ analysis of organic matter in soil horizons and radiocarbon dating of the humin fractions were performed. According to the carbon dating analysis, performed using the AMS method, the deepest histic horizon (between 30 and 40 cm deep), near the lithic contact in the relatively shallow profile of Histosol in grassland, was the oldest one (2625 years BP). The single dating performed on the gley horizon from the forest immediately below the histic horizon (between 25 and 35 cm) revealed an age of only 900 years BP. In both soil horizons of the grasslands and in the forest, the $\delta^{13}\text{C}$ values indicated C3 plants. Besides Serra da Igreja certainly presents high altitude grasslands from the late Pleistocene, as related by other studies in southern and southeastern Brazil, the studied sites are at least from the beginning of the late Holocene, when conditions of high moisture enabled the colonization/recolonization of the ridges of the Serra da Igreja. This is the period, often reported in the literature, of the advance of forest on to grasslands and savannas.

Keywords: High Altitude Grasslands, Upper Montane Cloud Forest, Radiocarbon dating, ^{13}C isotopes, Quaternary.

INTRODUÇÃO

A investigação das mudanças que ocorreram na vegetação e suas relações com o clima durante o final do período Quaternário é essencial para o entendimento das respostas dos ecossistemas às futuras mudanças climáticas (Pessenda *et al.*, 1996a, Scheel-Ybert *et al.*, 2003, Behling, 2002). Embora o conhecimento sobre o assunto venha sendo ampliado (Safford, 2007), ainda existem lacunas sobre os padrões de mudança das condições climáticas nas terras altas brasileiras durante os ciclos glaciais e interglaciais do final do Cenozóico e as respostas da vegetação a esses ciclos (Behling & Safford, 2009).

A presença (dominância) ou ausência de plantas de ciclo fotossintético C₃ (indicadoras de florestas e de herbáceas de campos, a maioria de estação fria, geralmente de locais mais úmidos) e C₄ (indicadoras de campos, herbáceas tropicais, a maioria de estação quente, bem como plantas aquáticas, de habitat xérico ou salino, Smith & Epstein 1971, Dümig *et al.* 2008) em comunidades vegetais do passado pode ser estudada pela composição isotópica do carbono estável $\delta^{13}\text{C}$ ($= {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$) na matéria orgânica do solo (Boutton *et al.*, 1998). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ de espécies de plantas C₃ estão entre aproximadamente - 34‰ e - 24‰ (geralmente em torno de - 27‰), enquanto que para as plantas C₄ os valores estão entre - 19‰ e - 6‰ (- 13‰) (Boutton *et al.*, 1998; Smith & Epstein 1971).

A datação por ¹⁴C tem sido usada em trabalhos envolvendo solos desde 1950, tratando-se de problemas de cronologia da matéria orgânica e gênese do solo e a dinâmica de carbono (Pessenda *et al.*, 1996b). Pessenda *et al.* (1996b), Gouveia *et al.* (1999), Pessenda *et al.* (2001) compararam datações de diferentes materiais nas mesmas profundidades em diversos perfis nas regiões Norte, Sudeste e Sul do Brasil. Tais autores verificaram idades similares nas amostras de carvão e na fração humina do solo, enquanto que nas amostras de solo “total” as idades foram mais recentes (apresentando mais ¹⁴C) demonstrando ser composta por materiais de idades muito diferentes. Os pesquisadores explicaram que o rejuvenescimento do perfil pode ocorrer pelo carbono mais jovem contido nas frações ácidos húmicos e fúlvicos, os quais

apresentam maior mobilidade do que a fração húmica, misturando-se com o material presente em maior profundidade. Apesar dos ácidos húmicos e fúlvicos apresentarem maior solubilidade em meio alcalino por apresentarem maior polaridade e menor tamanho molecular que a fração húmica, em condições de acidez, normalmente encontradas em solos tropicais, os ácidos húmicos apresentam pouca solubilidade (Benites *et al.*, 2003), apesar da ocorrência de chuvas. Portanto, quando não há fragmentos de carvão disponíveis nas amostras, a fração húmica provavelmente é o melhor material para a datação por ^{14}C , mas devem ser consideradas idades mínimas da matéria orgânica do solo (Pessenda *et al.*, 1996b, Gouveia *et al.*, 1999), pois a formação do solo é acompanhada por uma contínua incorporação de matéria orgânica ao reservatório de carbono já existente, e idades radiocarbônicas são sempre mais recentes do que a formação inicial do solo (Dümig *et al.*, 2008). Apesar de apresentar menor reatividade do que as demais substâncias húmicas, a fração húmica é responsável por mecanismos de agregação de partículas e em muitos solos tropicais apresenta a maior parte do carbono humificado do solo (Benites *et al.*, 2003; Anjos *et al.* 2008).

Muitos estudos sugerem a ocorrência de severas mudanças climáticas na América do Sul, com períodos geralmente mais secos e frios durante o final do Pleistoceno e o Holoceno do que no presente (Martinelli *et al.*, 1996, Pessenda *et al.*, 1996b, Behling & Lichte, 1997, Behling & Negrelle, 2001, Behling *et al.*, 2006, Parolin *et al.*, 2006, Behling, 2007, Saia *et al.*, 2008, Behling & Safford, 2010). Comparando trabalhos em regiões tropicais e subtropicais Pessenda *et al.*, (1998) salientaram que os dados indicam que durante Holoceno Inferior e Médio, as regiões subtropicais foram muito mais secas que as tropicais.

Segundo Safford (2007), para o leste da América do Sul, o entendimento sobre o último ciclo glacial tem ajudado nas descobertas de como os eventos glaciais afetaram a distribuição das plantas nas terras altas do Sudeste e Sul do Brasil. As temperaturas do final do Pleistoceno eram em torno de 5 a 7 °C mais baixas (Behling & Lichte, 1997, Behling & Negrelle, 2001). Isso significa que nessa região, as áreas em torno de 1200 m mais baixas (formações submontanas e das terras baixas) teriam

durante esse período as mesmas temperaturas que atualmente predominam no topo das montanhas. Portanto, é possível que os cumes mais altos, como os da Serra da Mantiqueira (2800-2900 m s.n.m.), fossem cobertos, no final da última glaciação, por neve permanente (isoterma de 0 °C), exercendo grande seleção de espécies nesses ambientes (Safford, 2007). As muitas oscilações climáticas durante o final do Terciário e no Quaternário provavelmente oportunizaram inúmeras migrações de espécies, colonizações, recolonizações, extinções e diferenciações genéticas (Safford 2007). Com condições mais secas e frias do que atualmente, muitas montanhas da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira eram cobertas por extensas áreas de campos altomontanos (Behling *et al.*, 2006, Behling, 2007, Behling & Safforf, 2009) e as florestas provavelmente se mantinham nas baixas altitudes, principalmente em vales mais protegidos. O único estudo paleoambiental em patamar altomontano realizado no Paraná (Behling, 2007), a 1500 m s.n.m na Serra do Araçatuba, indicou evidências de que, somente após 2000 anos AP, espécies de florestas ombrófilas (dos gêneros *Araucaria*, *Ilex*, *Symplocos*, *Drimys*, *Myrsine*, *Weinmannia* e da família Myrtaceae) começaram a ocupar posições mais altas nas montanhas até um certo limite de expansão, indicando condições mais úmidas.

Dando continuidade aos estudos sobre ambientes altomontanos no Paraná, realizados por Mocoichinski & Scheer (2008), Scheer & Mocoichinski (2009), Scheer *et al.* (Capítulo II deste trabalho) e Scheer *et al.* (Capítulo III deste trabalho), o presente trabalho realizado em área de campo altomontano (ou de altitude) e de Floresta Ombrófila Densa Altomontana na Serra da Igreja, pertencente ao complexo Serra do Mar no Paraná. O objetivo foi verificar indícios de como a ocupação do ambiente por vegetação florestal e campestre foi influenciada pelas mudanças climáticas durante o final do período Quaternário. Para tanto foram realizadas análises isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica de horizontes do solo e datações por ^{14}C da fração humina.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

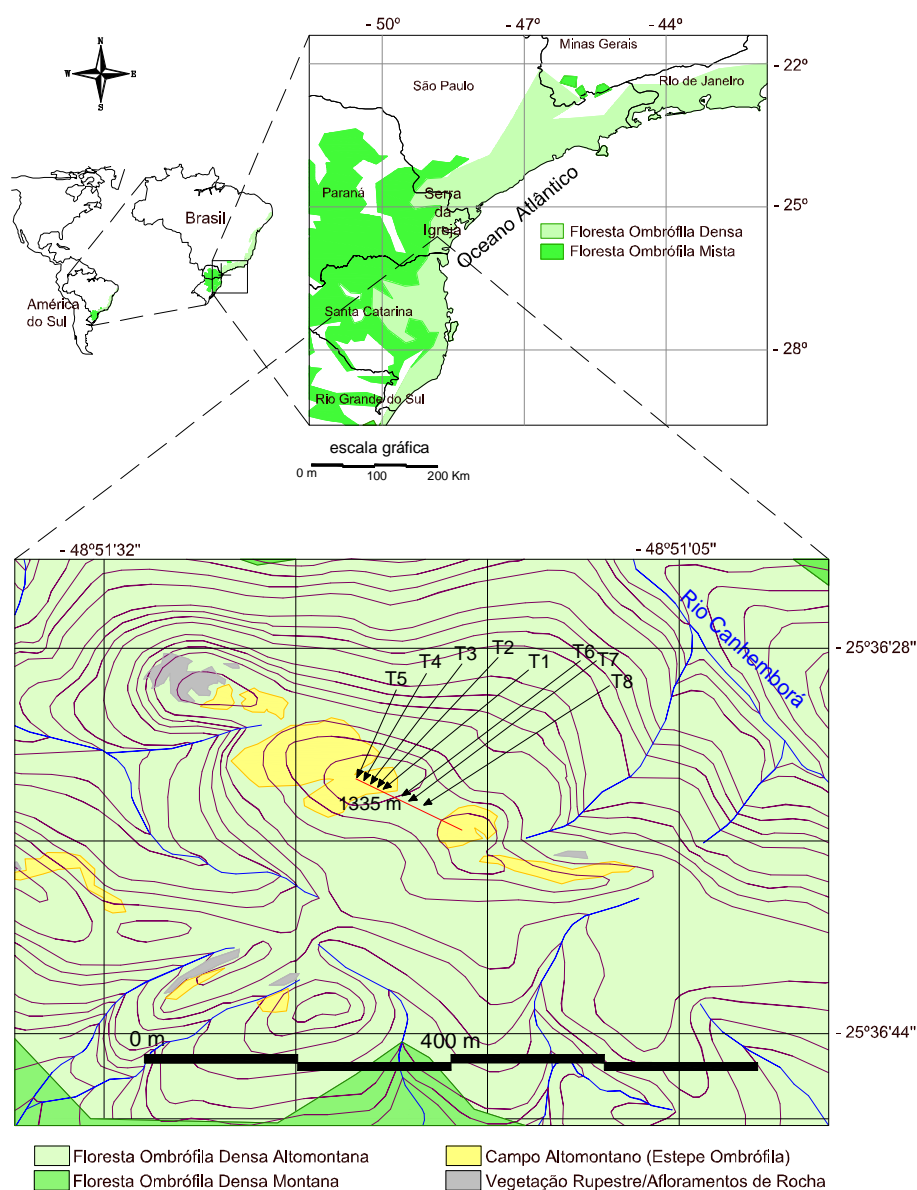
A área de estudo está localizada em um dos picos da Serra da Igreja, uma subserra da Serra do Mar, a 1335 m s.n.m., coordenadas 25°36'S e 48°51'W (Figura 1). A Serra da Igreja está inserida na Área de Proteção Ambiental – APA de Guaratuba, nos municípios de Guaratuba, Morretes e São José dos Pinhais. Assim como a maioria das montanhas da Serra do Mar no Paraná, suas porções superiores são formadas por granitos alcalinos encaixados em terrenos metamórficos de alto grau com contatos claramente falhados em consonância com sua origem tardi a pós tectônica (MINEROPAR 2001). Segundo a citada instituição, a rocha ígnea intrusiva do local do presente estudo, denominado Granito Serra da Igreja, foi originada há aproximadamente 550 milhões de anos, no Proterozóico Superior - Cambriano. É cortada por falhamentos na direção NE-SW do Ciclo Brasileiro ou Pan Africano (eventos do final do Proterozóico inferior), e do Arco de Ponta Grossa, importante estrutura de direção NW-SE da bacia do rio Paraná ativa desde o Paleozóico, mas palco de intensa atividade tectônica durante o Mesozóico, quando movimentos verticais ao longo do arqueamento atingiram seu apogeu, e profundas fraturas longitudinais deram passagem ao magma formador de extensos derrames da formação Serra Geral, bem como de diques, predominantemente de diabásio (Melo *et al.* 2000). O topo da citada serra é constituída por cobertura vegetal arbórea (Floresta Ombrófila Densa) e campestre (Estepes). As estepes estão localizadas em posição de cimeira, com ausência de pedregosidade e rochosidade, em relevos planos a ondulados, predominantemente de divergência hídrica, enquanto a floresta ocupa as posições de colo de cumeeira, em relevos forte ondulados e montanhosos, predominantemente de convergência hídrica (Figura 2).

Nessa serra, a Floresta Ombrófila Densa Atlântica cobre sua maior extensão, atingindo, em sua formação altomontana, as porções mais elevadas das encostas, acima de 1200 m s.n.m. e muito bem preservada devido ao seu isolamento e difícil

acesso. Em alguns trechos, nas encostas a oeste das montanhas do lado ocidental da serra, ocorre o ecótono entre essa e a Floresta Ombrófila Mista Montana, há aproximadamente 1100 m s.n.m.. Já nas porções mais elevadas das montanhas, a partir dos 1300 m s.n.m. passam a ocorrer os campos altomontanos em excelente estado de conservação, sem indícios de interferência antrópica.

Figura 1 - Localização da sequência amostral na Serra da Igreja, PR

Figure 1 - Location of the sampled area in Serra da Igreja, Southern Brazil



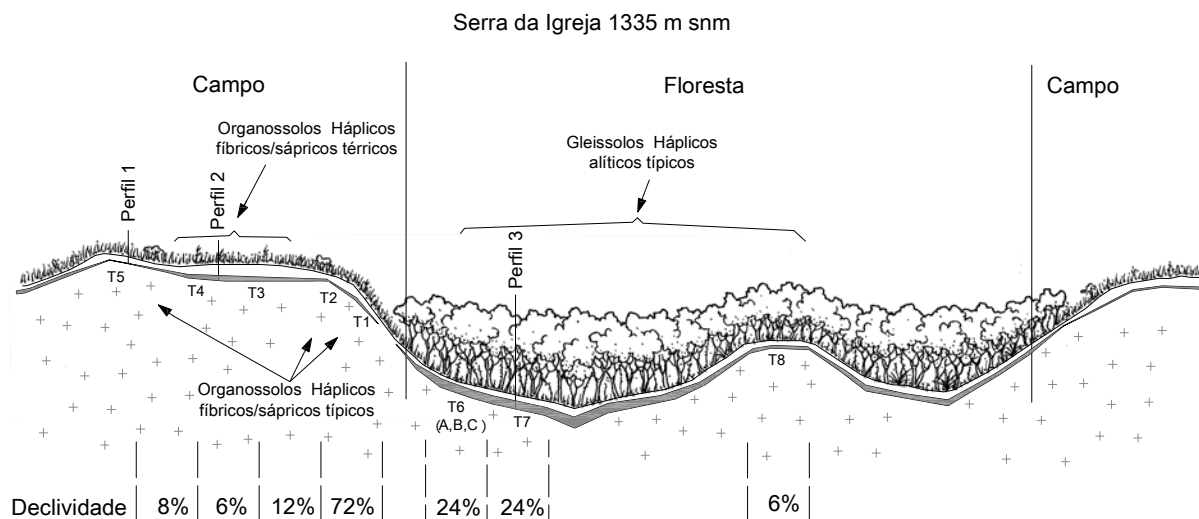
O clima das florestas altomontanas da Serra do Mar paranaense é classificado como Cfb, segundo Köppen, sendo subtropical, sempre úmido e com a temperatura média do mês mais frio abaixo de 18 °C e superior a - 3 °C e a média do mês mais quente inferior a 22 °C (Roderjan 1994). Roderjan & Grodski (1999) observaram temperatura mínima absoluta de - 5 °C, média anual de 13,4 °C e máxima absoluta de 30°C para patamares altomontanos a 1385 m s.n.m., em ambiente florestal, no Morro do Anhangava, no município de Quatro Barras, há aproximadamente 25 km ao norte da Serra da Igreja. As precipitações na Serra do Mar são bem distribuídas ao longo do ano e apresentam grande variação em função da topografia local. Medições na região litorânea ultrapassam 2000 mm anuais e nas encostas da serra os valores chegam a 3500 mm (Maack 2002).

Os pontos amostrais foram inseridos em uma sequência que passa por cumeeiras aguçadas (topos aplainados com 1335 m s.n.m.) cobertos por campos altomontanos sobre Organossolos em rampas convexas divergentes de pequeno dimensionamento geográfico (1,5 ha), os quais, após abrupta ruptura de declive, dão lugar a rampas côncavas-convergentes, nas classes de declive forte ondulado e montanhoso, constituídas por Gleissolos com horizontes hísticos sob floresta altomontana (Figuras 1 e 2).

Os campos altomontanos na área de estudo são constituídos por plantas herbáceas com aproximadamente 70 cm de altura, onde é dominante *Lagenocarpus triquetrus* (Boeck.) Kuntze (Cyperaceae), além de arbustos de pequeno porte, tais como *Croton mullerianus* L. R. Lima (Euphorbiaceae) (em média 50 cm de altura) e *Tibouchina dubia* (Cham.) Cogn. (Melastomataceae). Espécies arbóreas com participação na estrutura das florestas altomontanas adjacentes com altura aproximada de 5 m, tais como *Myrsine altomontana* M.F. Freitas & Kin.-Gouv. (Myrsinaceae) e *Tabebuia catarinensis* A. Gentry (Bignoniaceae), também ocorrem nos campos, porém esparsamente, com pequena cobertura e na forma de arbustos com altura média de 50 cm. Em levantamento florístico realizado no local por Mocoichinski & Scheer (2008), foram detectadas 99 espécies de plantas vasculares.

Figura 2 - Transecto com os pontos amostrados nos compartimentos através de tradagens. T: pontos tradados

Figure 2 - Transect with the sampled sites in Serra da Igreja, Southern Brazil



Conforme descrito anteriormente, a floresta altomontana apresenta-se sob controle estruturalizado por falhamentos pertencentes a colagem do Brasiliano/Pan Africano e do Arco de Ponta Grossa, fazendo com que esta fitotipia alcance patamares muito próximos dos principais topos da serra, apesar de chegar a poucos metros deles. A mudança de vegetação de floresta para campo é abrupta, com área ecotonal com fisionomia arbustiva com espécies das duas formações num gradiente de poucos metros (2 a 5 m). Segundo Scheer *et al.* (Capítulo II deste trabalho), *Siphoneugena reitzii* D. Legrand (Myrtaceae), *Ilex microdonta* Reissek (Aquifoliaceae) e *Drimys angustifolia* Miers. (Winteraceae) perfazem 50% do porcentagem de importância fitossociológica arbórea ($PAP \geq 10$ cm). Segundo os autores, a área basal é de 30,5 m^2/ha e a densidade é de 4696 ind/ha.

Coleta de amostras e análises dos dados

Após mapeamento de solos detalhado, amostras foram coletadas em transecto que envolve três perfis de solos, respectivamente, dois Organossolos e um Gleissolo. Os Organossolos encontram-se sobre cobertura vegetal estépica e, a despeito de ocorrerem em posição de cumeeira aguçada, um ocorre em pequena depressão, o que determina maior espessura e drenagem restrita, enquanto o outro é mais raso e mais bem drenado, em posição de cumeeira propriamente dito (1335 m s.n.m.).

O Gleissolo faz parte da paisagem de colo de cumeeira (1325 m s.n.m.), sob cobertura florestal altomontana localizado a aproximadamente 50 m de distância dos perfis anteriores (Figura 2).

Foi coletado pelo menos 1 kg de solo em cada horizonte ou sub-horizonte identificado. As raízes e demais fragmentos vegetais foram retirados manualmente. A maior parte dos resíduos foi removida por flotação em HCl 0,01M. As amostras dos solos foram secadas a 60 °C até peso constante, desagregadas em almofariz de porcelana, peneiradas a 210 µm para reduzir efeitos de heterogeneidade e novamente submetidas a flotação em HCl 0,01 M para nova eliminação de resíduos vegetais. Aproximadamente 4 g por amostra foram encaminhados para análises $\delta^{13}\text{C}$. Para o preparo das amostras de humina foram utilizados aproximadamente 100 g de cada amostra orgânica e 1000 g de uma única amostra mineral.

Para a preparação da humina do solo para a datação por ^{14}C , foi utilizada uma adaptação do método ácido-alcalino-ácido, descrito por Pessenda *et al.* (1996a) e por Gouveia & Pessenda (1999). O produto resultante desse processo é o isolamento da humina (conforme já comentado, matéria orgânica mais estável do solo indicada para a datação quando não são encontrados fragmentos de carvão), de outras formas de carbono não solúveis em meio alcalino (fibras e matéria orgânica leve) e da fração mineral, através da extração de ácidos fúlvicos e húmicos, de raízes, fragmentos vegetais e outros compostos em vias de humificação, açúcares, proteínas, gorduras e o CO_2 atmosférico. O procedimento foi realizado em seis amostras, sendo cinco

orgânicas (horizontes hísticos) e uma mineral (horizonte Cg), utilizando copos de Becker de 1 e 4 L, respectivamente (Anexo 1). O processo de laboratório consistiu nos seguintes procedimentos: (1) digestão ácida com pelo menos 0,5 L de HCl 0,5M a 70-80 °C por 4 h para digerir materiais leves em vias de humificação; (2) repetidas lavagens com água deionizada e descarte do sobrenadante até tornar o pH próximo a 4, com o objetivo de eliminar o ácido pré-tratamento e compostos não humificados; (3) reação do resíduo sólido com pelo menos 1,5 L (0,5 L por extração para Becker de 1 L) de pirofosfato e hidróxido de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ e NaOH) 0,1M (pH 13) por pelo menos 36 h (12 h por extração) para a solubilização de ácidos húmicos e fúlvicos; (4) repetidas lavagens com água deionizada e descarte do sobrenadante até o pH tornar-se ácido e a solução sobrenadante tornar-se clara; (5) hidrólise do resíduo com aproximadamente 0,5 L (Becker de 1 L) de HCl 3M em torno de 100 °C por 12 h para digerir resíduos orgânicos como açúcares, proteínas, gorduras e eliminar a contaminação pelo CO_2 atmosférico; (6) repetidas lavagens com água deionizada e descarte do sobrenadante até o pH alcançar 3-4; e (7) secagem do resíduo sólido a 40 °C por pelo menos 48 h, nova desagregação em almofariz de porcelana e novo peneiramento em malha de 210 μm . Devido à característica de materiais de origem predominantemente orgânica, após esse procedimento ainda foram notados alguns resíduos de raízes e radículas. Para sua eliminação, todas amostras com a “humina isolada” foram peneiradas a 105 μm e inspecionadas com auxílio de lupa e de pinça para posterior envio para o laboratório para a datação por ^{14}C (0,1 g para os produtos resultantes dos horizontes orgânicos e 30 g para o produto proveniente de horizonte mineral).

Como informação complementar, também foram coletadas amostras de tecido foliar das duas espécies dominantes no campo: *Lagenocarpus triquetrus* e *Croton mullerianus* para análises $\delta^{13}\text{C}$ (em triplicata).

As razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica dos horizontes dos solos e de tecidos vegetais foram determinadas por espectrometria de massa do CO_2 proveniente da combustão em uma atmosfera de puro oxigênio a 900 °C, no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). Os resultados

para C orgânico total foram expressos em porcentagem de peso seco. Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ foram expressos por mil (‰) representando a proporção $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ das amostras em relação à do padrão internacional PDB (material calcário fóssil da *Belemnitella americana* encontrado numa formação Pee Dee do Cretáceo, na Carolina do Norte) (Stuiver e Polach, 1977; Alves *et al.* 2008) padronizado na notação convencional δ (‰), com precisão analítica de $\pm 0,2\%$.

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = [(R \text{ amostra}/R \text{ padrão}) - 1] \times 1000$$

As análises de ^{14}C das frações das amostras das frações “humina” foram realizadas no Laboratório da Universidade da Geórgia, em Athens nos Estados Unidos, usando técnica de Espectrometria de Massa Acoplada a Acelerador de Partículas (AMS). As idades foram expressas em anos convencionais antes de presente - AP (1950), normalizado $\delta^{13}\text{C}$ de - 25‰ PDB e calibrado usando intervalo de confiança de 2σ (Stuiver & Reimer, 1993; Reimer *et al.*, 2004) e em porcentagem de carbono moderno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos perfis

Conforme esperado, os teores de carbono orgânico total dos horizontes hísticos são muito elevados (aproximadamente 45%, Tabela 1), com a predominância de material fíbrico na superfície e sáprico em subsuperfície no caso dos Organossolos. Os substratos orgânicos devem-se à gênese hidromórfica desses solos, conciliado à presença de frequente neblina, baixas temperaturas e alta umidade atmosférica, fatores que determinam baixas taxas de decomposição do material orgânico. Apesar de apresentar teores bem mais baixos, os horizontes minerais também possuem teores

consideráveis de carbono (entre 2,5 e 4,7%). Tais horizontes indicam morfologicamente a presença de ambiente redutor pelas suas cores 10YR 4/1 e 5/3, cinza escuro e bruno-amarelada, respectivamente (Tabela 1).

$\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo

Apesar da possibilidade de haver importantes diferenças na composição da matéria orgânica do solo, assume-se que variações menores do que 4‰ estão associadas ao fracionamento isotópico durante a sua decomposição (maior estabilidade de lipídios e lignina em relação a compostos enriquecidos em ^{13}C , tais como hemiceluloses, açúcares, pectinas e amino ácidos) e às diferenças na composição isotópica do CO_2 atmosférico (Dümig *et al.*, 2008; Nadelhofer & Fry, 1988, Boutton, 1996). Portanto, a amplitude encontrada em todos os horizontes analisados (2,5‰, Tabelas. 2 e Figura 3) é muito pequena para associar com mudanças na vegetação na província dos Organossolos, embora provavelmente tenham ocorrido no perfil de Gleissolo, onde atualmente encontra-se a floresta. Provavelmente, com as condições mais secas do Holoceno médio, tal local poderia apresentar formação estépica. No entanto, com o aumento da umidade do final do Holoceno, a floresta conseguiu avançar. Todos os valores observados podem ser considerados empobrecidos em ^{13}C , indicando a predominância de plantas C_3 desde sua formação até o presente. Portanto, na Serra da Igreja, as plantas C_3 parecem ter dominado as florestas altomontanas e os campos altomontanos pelo menos desde 3000 anos AP. Tal fato também pode ser constatado pelos valores $\delta^{13}\text{C}$ das espécies atualmente dominantes no campo altomontano, tais como *Lagenocarpus triquetrus* (- 25,8‰) e *Croton mullerianus* (- 29,3‰), caracterizando como plantas C_3 . Plantas deste grupo fotossintético são relacionadas a condições úmidas, geralmente de estação fria (Dümig *et al.*, 2008; Pessenda *et al.*, 2009). Conforme discussões seguintes, a data da formação desses solos concorda com o período de aumento de umidade do Holoceno tardio.

Tabela 1 - Estratigrafia dos perfis na Serra da Igreja, PR

Table 1 - Stratigraphy of the Serra da Igreja profiles, southern Brazil

Local	Horizonte	Profund. (cm)	Cor	Descrição
Perfil 1 – ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico/Sáprico típico relevo suave ondulado				
campo	O	0-23	N2/	Horizonte hístico fíbrico, com menor tempo sob saturação hídrica que o horizonte subjacente, com maior permeabilidade, com 46,2% de carbono orgânico total
	H	23-42	10YR 2/1	Horizonte hístico sáprico, com 43,2% de carbono orgânico total
	R	42+	-	Granito alcalino
Perfil 2 – ORGANOSSOLO HÁPLICO Fíbrico/Sáprico térrico relevo suave ondulado				
campo	H1	0-19	N2/	Horizonte hístico fíbrico, com 43,6% de carbono orgânico total
	H2	19-37	10YR 2/2	Horizonte hístico fíbrico, com 45,4% de carbono orgânico total
	H3	37-48	10YR 3/2	Horizonte hístico fíbrico/hêmico, com 48,4% de carbono orgânico total
	H4	48-56	10YR 2/2	Horizonte hístico sáprico, com 47,2% de carbono orgânico total
	Cg	56-77+	10YR 4/1	Horizonte mineral C gleico, com 2,5% de carbono orgânico total
Perfil 3 - GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico O hístico textura média relevo forte ondulado				
floresta	O	0-25	N2/	Horizonte hístico fíbrico, com 40,8% de carbono orgânico total
	Cg1	25-40	10YR 4/1	Horizonte mineral C gleico, com 4,7% de carbono orgânico total
	Cg2	40-55	10YR 5/3	Horizonte mineral C gleico, com 2,5% de carbono orgânico total
	R	55+	-	Granito alcalino

Datações por ^{14}C da fração humina

As datações por ^{14}C da fração humina da matéria orgânica dos solos dos três perfis estão apresentadas na Tabela 2. Conforme esperado, nos Organossolos, os resultados indicam substâncias húmicas mais antigas com o aumento da profundidade dentro de um mesmo perfil, caracterizando a gênese ascensional desta classe de solo.

No entanto, apesar dos perfis estarem muito próximos, as diferentes condições geomórficas que ocupam podem justificar idades mais antigas nos horizontes hísticos do perfil 1 (mais raso e com melhor drenagem) em relação ao perfil 2 (mais profundo e drenagem mais lenta). Apesar da pequena distância entre ambos os perfis, as menores idades dos materiais que constituem os horizontes do segundo perfil estão, provavelmente, atestando uma mudança no regime hídrico da província dos Organossolos, estes mais recentes. Na medida em que se verifica o aumento da espessura da província, em razão da grande capacidade de retenção hídrica da matéria orgânica, verifica-se o aumento gradual de substratos hísticos gerados por hidromorfia em detrimento dos substratos hísticos gerados pela conjunção de temperaturas muito baixas com neblina frequente. Nestas condições de elevada saturação hídrica é possível que tenham ocorrido fluxos de massa, havendo perda no solo representado pelo perfil 2, o qual pode ter sido reconstituído gradualmente ao longo dos séculos. As taxas de espessamento dos hísticos foram superiores no perfil 2 (1,68 e 0,13 mm/ano) entre 0 e 39,5 e 39,5 e 52 cm de profundidade, respectivamente. No perfil 1, os valores foram de 0,22 e 0,07 mm/ano, entre 0 e 25 e 25 e 35 cm de profundidade, respectivamente. As altas taxas de espessamento nesses solos de regime hidromórfico, principalmente no perfil 2, parecem impedir o avanço da floresta, bem como a alta densidade de raízes finas e sua matriz orgânica provavelmente não suportam o desenvolvimento normal de espécies arbóreas nos cumes, expostas a ventos fortes. Entre 0 e 32,4 cm de profundidade, o perfil 3 (em Gleissolo sob floresta) apresentou uma taxa de espessamento média de 0,33 mm/ano.

Tabela 2 - Datação por ^{14}C da fração humina de horizontes dos Organossolos de campo (Perfis 1 e 2) e do Gleissolo de floresta altomontana (Perfil 3)

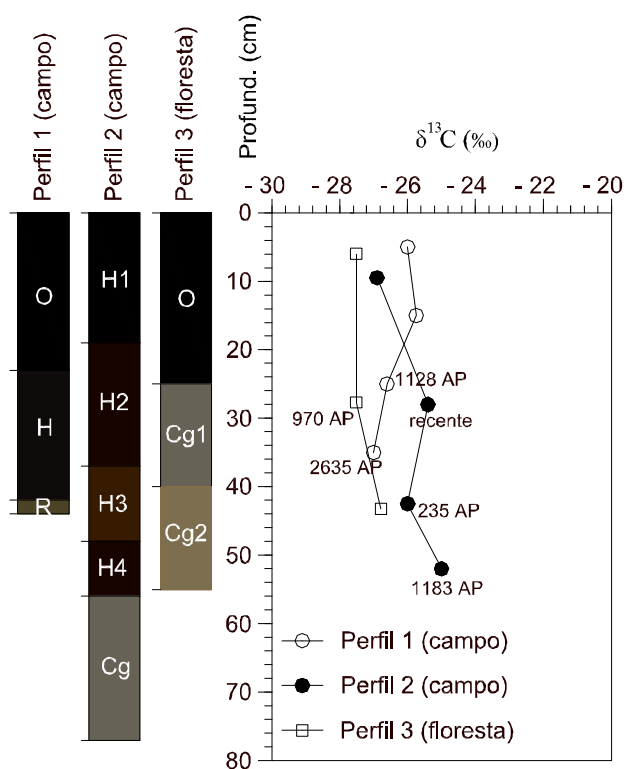
Table 2 - Radiocarbon dating of humin fraction from Histosols horizons (profiles 1 and 2) and from Gleisol mineral horizon (profile 3)

Perfil	Horizonte	Profundidade (cm)	Número do laboratório	Porcentagem de C moderno (pCM) $\pm 1 \sigma$	Idade (Anos AP)	Idade (Anos AP calibrados)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
1 (campo)	H	20-30	UGAMS 5816	$86,7 \pm 0,25$	1128 ± 25	931-1054	- 27,5
1 (campo)	H	30-40	UGAMS 5817	$91,8 \pm 0,22$	2635 ± 25	2509-2762	- 28,0
2 (campo)	H2	19-37	UGAMS 5818	$100,4 \pm 0,28$	moderna	moderna	- 26,6
2 (campo)	H3	37-48	UGAMS 5819	$97,0 \pm 0,27$	235 ± 25	148-304	- 26,5
2 (campo)	H4	48-56	UGAMS 5820	$86,1 \pm 0,25$	1183 ± 25	963-1166	- 27,6
3 (floresta)	Cg1	25-35	UGAMS 5821	$88,4 \pm 0,25$	970 ± 25	774-913	- 27,9

UGAMS – Universidade da Georgia; técnica AMS (Accelerator Mass Spectrometry)

Figura 3 - Datações radiocarbônicas da fração humina e $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica dos solos dos perfis na Serra da Igreja

Figure 3 - Radiocarbon ages of humin fraction and $\delta^{13}\text{C}$ analysis of soil organic matter from profiles in Serra da Igreja, Paraná state, southern Brazil



Final do Pleistoceno

Behling & Lichte (1997) e Behling & Negrelle (2001) estimaram que durante o último máximo glacial (27500 a 14500 anos AP), as temperaturas eram entre 5 e 7 °C mais frias do que atualmente. Tais temperaturas podem não ter propiciado o estabelecimento de campos de altitude em grandes extensões de algumas cumeeiras da Serra do Mar (Behling, 2007, Safford, 2007, Behling & Safford, 2009) ou pequenos intervalos mais secos e com consequentes chuvas podem ter oxidado a matéria orgânica e erodido seu substrato. Alguns registros de campos altomontanos (e montanos) nesse período foram reportados por Behling (1997) no Morro do Itapeva na Serra da Mantiqueira, por Behling *et al.* (2007) na Serra da Bocaina, e por Pessenda *et al.* (2009), ambos na região Sudeste do Brasil. Considerando essa significativa redução da temperatura, para as áreas estudadas na Serra da Igreja, que atualmente apresentam uma média anual de 13,4 °C, teriam durante o último máximo glacial uma temperatura média anual de 6,4 °C. Considerando demais estimativas de Roderjan & Grodski (1999) para o Morro Anhangava em altitude e latitude próxima, os ambientes amostrados estariam expostos a pelo menos três meses por ano com temperaturas médias abaixo de 4 °C e com possibilidade de temperaturas mínimas muito abaixo dos - 12 °C.

No presente estudo na Serra da Igreja, não foram encontrados solos formados (ou em formação) desde o final do Pleistoceno, período subsequente ao último máximo glacial, provavelmente pelo fato de se ter avaliado somente posições de cumeeiras, onde os solos são mais rasos e há maior perda de sedimentos. Solos desse período foram reportados por Behling (2007) no Morro dos Perdidos, a 1500 m s.n.m. na Serra do Araçatuba na região Sul (14880 anos AP), por Behling (1997) no Morro do Itapeva a 1850 m s.n.m., na Serra da Mantiqueira (desde o máximo glacial – 35000 anos AP), por Behling *et al.* (2007) na Serra da Bocaina entre 1500 e 1650 m s.n.m. (desde o máximo glacial - 18750 anos AP) e por Behling & Safford (2009) para regiões altomontanas a 2010 m s.n.m., na Serra dos Órgãos (12380 anos AP), ambos estudos na região Sudeste brasileira. Behling & Safford (2009) detectaram a presença

da floresta altomontana provavelmente próxima ao ponto estudado na Serra dos Órgãos nesse período (o qual correlacionaram ao final do período conhecido como *Younger Dryas*) atribuindo a uma curta fase, relativamente mais quente e úmida, similar à atual, relacionada à uma periódica redução da circulação termohalina no oceano Atlântico Norte resultando no aquecimento do oceano Atlântico tropical (Rühlemann *et al.* 1999). Evidências desse fenômeno, com intenso esfriamento no norte do Atlântico Norte, também foram reportadas por Behling (1997) e por Behling *et al.* (2007) na região Sudeste. No entanto, essa fase não foi detectada no sítio estudado por Behling (2007) na Serra do Araçatuba no Paraná, possivelmente por esse fenômeno ter sido mais ameno nessa região altomontana, situada a centenas de quilômetros mais ao sul.

A não ocorrência de datações contemporâneas às demais montanhas estudadas (15000 a 10000 anos AP), não significa que a Serra da Igreja não apresentava campos altomontanos nas suas regiões mais elevadas. Significa apenas que os sítios amostrados, por se localizarem em cumes, podem ter sido mais sensíveis às mudanças climáticas e expostos a sucessivas colonizações e recolonizações. No entanto para validar tais possibilidades são necessários estudos pedossequenciais em novos perfis sob florestas e campos em altitudes altomontanas mais baixas na mesma serra, em compartimentos geomórficos diferentes, como colos e base de encostas, além de algumas outras cumeeiras.

Os períodos mais frios e secos do Pleistoceno foram ainda menos favoráveis à expansão e ao estabelecimento de florestas. Apesar da grande distância do local desta pesquisa, o estudo de Behling & Negrelle (2001) em planície litorânea em Santa Catarina só revelou os primeiros registros de pólen de espécies arbóreas tropicais a partir de 14400 anos AP. Pouquíssimo pólen de espécies florestais foi detectado nas partes mais elevadas na Serra do Araçatuba (Behling, 2007) e, como para essa serra, a Serra da Igreja só teria florestas mais representativas se desenvolvendo em altitudes mais baixas, provavelmente em pequenos remanescentes em vales mais protegidos e úmidos. No entanto, na região Sudeste, Pessenda *et al.* (2009), encontraram em posições superiores de montanhas mais baixas e em menor latitude que a do presente

estudo, registros de florestas subtropicais com presença de coníferas entre 28 e 22 mil anos AP, indicando condições mais frias, mas com umidade suficiente para manter um mosaico de campos e florestas.

Holoceno

Os solos datados através da fração húmica da matéria orgânica na Serra da Igreja são provenientes ou apresentaram sua maior evolução pelo menos desde o início do Holoceno Tardio, indicando que mudanças significativas no clima propiciaram tal evento.

Corroborando tal afirmação, há uma grande coerência entre os estudos realizados em áreas atualmente de cerrado e de florestas estacionais no centro-oeste e sudeste brasileiro de que entre o Holoceno Inferior e Médio predominou um período climático mais seco (Scheel-Ybert *et al.*, 2003; Behling & Safford, 2009). Condições climáticas mais úmidas, similares às atuais, só iniciaram entre 5000 e 1000 anos AP, dependendo do sítio. Em São Paulo (Botucatu, Anhembi e Pirassununga) essa mudança começou a ocorrer em torno de 3500/3000 anos AP (Scheel-Ybert *et al.*, 2003), em Jaguariúna após 4000 AP (Gouveia *et al.*, 1999), em Piracicaba e Londrina após 3090 anos AP (Pessenda *et al.*, 1996b) e no Mato Grosso do Sul a aproximadamente 4610/4010 anos AP (Parolin *et al.* 2006). Após o aumento da umidade, a maioria desses sítios tendeu a uma evolução de uma vegetação com predomínio de herbáceas C₄ para uma vegetação mais florestal C₃, em diferentes graus de desenvolvimento, de campo cerrado para floresta estacional. As pequenas variações encontradas entre sítios, principalmente nas regiões tropicais, provavelmente, são influenciadas pela migração latitudinal da Zona de Convergência Intertropical, enquanto que as regiões mais ao sul do Brasil, são influenciadas pelas frentes frias da Antártica (Behling, 2002).

Na Amazônia, entre as cidades de Porto Velho e Humaitá, o cerrado deixou de avançar sobre a floresta, a qual, também com melhores condições de umidade,

começou a dominar a região a partir de 3000 anos AP (Pessenda *et al.*, 2001). Tais condições mais úmidas também foram documentadas por diversos trabalhos na região Sul do Brasil (Behling *et al.*, 2001; Behling, 2002; Behling, 2007; Dümig *et al.*, 2008), inferindo-se ao início da expansão da floresta com araucária pelas florestas ciliares a partir de 3200 anos AP e seu significativo avanço sobre os campos entre 1000 e 1500 anos AP. Duas fases de maior umidade foram observadas no final do Holoceno, a primeira iniciando-se há 3200 anos AP e a segunda há 1100 anos AP em Santa Catarina. A segunda foi reportada no Paraná um pouco mais tarde, há 1400 anos AP, e na Serra do Araçatuba, há 2000 anos AP (Behling, 2007). Pelas datações por ^{14}C da fração dos solos representados pelos perfis 1 e 2, esses provavelmente iniciaram seu maior desenvolvimento na primeira fase, e especialmente o perfil 2 na segunda fase, devido à sua formação ou re-constituição após provável fluxo de massa, conforme comentado anteriormente.

A melhoria das condições de umidade a partir do final do Holoceno médio também foi reportada por Behling & Negrelle (2001), no litoral Sul do Brasil, em Itapoá, SC. Entre 4330 e 3190 anos AP, a Floresta Ombrófila Densa apresentou um maior desenvolvimento logo após regressão marinha, datada em 6000 anos AP para o sítio estudado.

Behling & Negrelle (2001), Saia *et al.* (2008) e Pessenda *et al.* (2009) reportaram os climas frios do último máximo glacial, bem como um maior desenvolvimento da Floresta Atlântica, embora provavelmente pouco desenvolvida, a partir do final do Pleistoceno e início do Holoceno. Oliveira *et al.* (2008 a e b) apontaram um período mais seco em torno de 6000 anos AP. Segundo Melo *et al.* (2003), muitos autores têm relatado que as regiões Sul e Sudeste passaram por alternados períodos mais secos e mais úmidos durante o final do Pleistoceno e o Holoceno, sendo uma consequência de mudanças climáticas globais mais duradouras, bem como eventos mais curtos comparáveis ao fenômeno El Niño. Isso resultou no avanço da vegetação mais aberta como os cerrados e campos sobre a vegetação florestal em períodos mais secos (estação seca anual prolongada) e ao contrário nos períodos mais úmidos (Melo *et al.*, 2003). Em algumas áreas, a retração das florestas

pode não ter sido em escala regional, mas apenas um fenômeno mais localizado, em menores proporções (Martinelli *et al.*, 1996). Essa rápida mudança ambiental há 4000 anos AP, a qual resultou num aumento de precipitação e/ou no encurtamento da estação seca na América do Sul tropical, implicou em condições opostas no continente africano (Marchant & Hooghiemstra 2004).

O aumento do número de pólenes provenientes de espécies características de campo na Serra dos Órgãos, bem como a presença de fragmentos de carvão especialmente entre 9450 e 7850 anos AP, indicam uma subsequente fase seca do início do Holoceno até aproximadamente 4910 anos AP (Behling & Safford, 2009), concordando com os estudos em áreas de Cerrado e Floresta Estacional, Cerrado e Floresta Amazônica e Campo e Floresta Ombrófila Mista citados anteriormente, quando prováveis condições de maior umidade propiciaram novamente o avanço das florestas, chegando provavelmente próximas ao perfil estudado. No período anterior à formação dos solos estudados por Behling (1997), Behling (2007), Safford (2007) (final do último máximo glacial), as condições climáticas foram provavelmente secas e frias o suficiente para não haver significativo acúmulo de material orgânico sobre a rocha. Embora mais raros que os reportados para as serras da região Sudeste, na Serra do Araçatuba, incêndios ocorreram no final do Pleistoceno, e ainda em menor intensidade no Holoceno Inferior e Médio (Behling, 2007), provavelmente prejudicando o estabelecimento de vegetação em algumas áreas mais suscetíveis. O mesmo deve ter ocorrido no sítio do presente estudo na Serra da Igreja, provavelmente no período seco que se estendeu entre o Holoceno Inferior e Médio.

Os cumes da Serra da Igreja são feições geomórficas que, durante períodos mais secos, provavelmente ficaram ainda menos suscetíveis à sua recolonização pela vegetação, em relação aos colos e encostas estudados nos outros trabalhos em regiões altomontanas. Tais feições apresentam relativamente maior umidade, proteção e conexão com a vegetação logo à jusante. Os períodos mais secos do Holoceno Inferior e Médio, podem também ter tornado a vegetação anterior à atual suscetível à erosão, possivelmente agravada por eventos chuvosos, deixando a maior parte das cumeeiras

isentas de vegetação ou apenas na forma de vegetação rupestre por um certo período antes de seu novo estabelecimento até o recente.

Tal possibilidade é condizente com os importantes eventos de sedimentação ocorridos durante esses períodos secos até o Holoceno médio, documentados por Oliveira *et al.* (2008 a e b), os quais foram contrastados por regimes sazonais de chuvas que excederam à evaporação em locais próximos às cabeceiras de drenagem em São Bento do Sul, em Santa Catarina. Já as áreas de colúvio mais altas, representadas pelo perfil 3, em ambiente de floresta altomontana sobre Gleissolo na Serra da Igreja, permitiram a colonização de espécies arbóreas e consequentemente efetuaram sua conexão com as florestas que avançavam pelas zonas de convergência hídrica logo a jusante. Portanto, as áreas altas das serras do Sul e Sudeste do Brasil provavelmente possuem tanto campos altomontanos estabelecidos desde pelo menos o final do Pleistoceno, quanto campos estabelecidos ou restabelecidos sobre a rocha logo após o Holoceno médio. A partir do final desse período, as condições de maior umidade propiciaram um maior desenvolvimento (em diferentes intensidades) da vegetação florestal sobre a campestre, bem como da campestre e rupestre sobre áreas parcialmente desnudas de algumas cumeeiras da Serra do Mar.

Exceto o presente estudo, todos os outros trabalhos realizados em áreas nas porções superiores das montanhas do Sul e Sudeste brasileiro apontam áreas remanescentes de campos mais extensos do final dos tempos glaciais (Pleistoceno) (Behling, 1997; Behling, 2002; Behling, 2007; Behling *et al.*, 2007; Behling & Safford, 2009; Pessenda *et al.* 2009) e indicam que o Holoceno Inferior e Médio foram mais secos e com estações secas maiores do que o presente, sendo relativamente mais “morno” que o final do Pleistoceno.

Tais resultados salientam a fragilidade dos solos estudados na Serra da Igreja. Apesar das últimas condições climáticas terem propiciado sua estabilidade, seu desenvolvimento em espessura e acúmulo de matéria orgânica nos seus últimos 3000 anos AP, apenas um simples evento antrópico ou significativas mudanças climáticas resultantes do aquecimento global (Flenley, 1998; Foster, 2001) podem transformar a paisagem altomontana drasticamente com a perda desses ambientes (campos e

florestas), os quais desempenham inúmeras funcionalidades ambientais. Sua efemeridade, juntamente com o fato de muitos deles ainda expressarem características primitivas, sem grandes interferências antrópicas devido ao seu isolamento pelo difícil acesso, por si só, justificam a continuidade de seu estudo e monitoramento como uma ferramenta para investigar suas respostas às futuras mudanças climáticas.

CONCLUSÕES

Os isótopos de carbono e as datações da fração humina na matéria orgânica do solo indicaram que os sítios altomontanos estudados na Serra da Igreja no Paraná, são provenientes de plantas C_3 do Holoceno tardio. Apesar da Serra da Igreja certamente apresentar campos altomontanos provenientes do final do Pleistoceno, como em outros estudos no sul e sudeste do Brasil, a posição topográfica de cimeira é mais instável às mudanças climáticas e, possivelmente, tenha sido colonizado, degradado e recolonizado sucessivas vezes pela vegetação campestre ou rupestre durante tempos anteriores à essa última colonização. Desde o início do Holoceno tardio, com condições mais úmidas, a floresta altomontana tem se desenvolvido fortemente por controle estrutural nos vales e colos, onde há maior convergência hídrica e ação de processos morfogenéticos. Provavelmente, a floresta teve tempo de avançar sobre os campos estudados, mas não teve condições. Possíveis mudanças climáticas globais ou degradações antrópicas, as quais resultem na oxidação da matéria orgânica dos horizontes hísticos, entre outros fatores, podem levar tanto à substituição desses ambientes por florestas, quanto a áreas sucessionais com baixa capacidade de regeneração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47:151-163, 1996.

BEHLING, H. & LICHTER, M. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical southeastern Brazil. *Quaternary Research*, 48:348-358, 1997.

BEHLING, H. & NEGRELLE, R. R. B. Tropical Rain Forest and Climate Dynamics of the Atlantic Lowland, Southern Brazil, during the Late Quaternary. *Quaternary Research*, 56:383-389, 2001.

BEHLING, H., BAUERMAN, S.G. & NEVES, P.C.P. Holocene environment changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.*, 14:631-639, 2001.

BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 177:19-27, 2002.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, fire and climate dynamics of Serra do Araçatuba in the Atlantic coastal mountains of Paraná State, southern Brazil. *Veget. Hist. Archaeobot.*, 16:77-85, 2007.

BEHLING, H., DUPONT, L., SAFFORD, H. F. & WEFER, G. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in the Serra da Bocaina, southeastern Brazil. *Quaternary International*, 161: 22-31, 2007.

BEHLING, H. & SAFFORD, H. D. Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Orgãos Mountains of Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02029.x, 2009.

BENITES, V.M., CAIAFA, A.N., MENDONÇA, E.S., SCHAEFFER, C.E.G.R. & KER, J.C. Solos e vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Revista Floresta e Ambiente*, 10:76-85, 2003.

BOUTTON, T.W., ARCHER, S.R., MIDWOOD, A.J., ZITZER, S.F. & BOL, R. $\delta^{13}\text{C}$ values of soil organic carbon and their use in documenting vegetation change in a subtropical savanna ecosystem. *Geoderma*, 82:5-41, 1998.

DÜMIG, A., SCHAD, P., RUMPEL, C., DIGNAC, M. F. & KÖGEL-KNABNER, I. Araucaria forest expansion on grassland in the southern Brazilian highlands as revealed by ^{14}C and $\delta^{13}\text{C}$ studies. *Geoderma*, 145:143-157, 2008.

FLENLEY, J. R. Tropical forests under the climates of the last 30,000 years. *Climatic Change*, 39:177-197, 1998.

FOSTER, P. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55:73-106, 2001.

GOH, K. M. & MOLLOY, B. P. J. Radiocarbon dating of paleosols using organic matter components. *Journal of Soil Science*, 29(4):567-573, 1978.

GOUVEIA, S. E. M. & PESSEDA, L. C. R. Datação da fração humina da matéria orgânica do solo e sua comparação com idades ^{14}C de carvões fósseis. *Química Nova*, 22(6):810-814, 1999a.

GOUVEIA, S. E. M., PESSEDA, L. C. R., BOULET, R., ARAVENA & SCHEEL-YBERT. Isótopos do carbon dos carvões e da material organic do solo em estudos de mudança de vegetação e clima no Quaternário e da taxa de formação de solos do estado de São Paulo. *An. Acad. Bras. Ci.*, 71:4-11, 1999b.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, Imprensa Oficial, 2002. 440p.

MARCHANT, R. & HOOGHIMSTRA, H. Rapid environmental change in African and South American tropics around 4000 years before present: a review. *Earth-Science Reviews*, 66:217-260, 2004.

MARTINELLI, L. A., PESSEDA, L. C. R., ESPINOZA, E., CAMARGO, P. B., TELLES, E. C., CERRI, C. C., VICTORIA, R. L., ARAVENA, R., RICHEY, J. & TRUMBO, S. Carbon-13 depth variation in soils of Brazil and relations with climate changes during the Quaternary. *Oecologia*, 106: 376-381, 1996.

MELO, M. S., GIANNINI, P.C.F. & PESSEDA, L.C.R. Gênese e Evolução da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR. *Revista do Instituto Geológico*, 21(1/2):17-31, 2000.

MELO, M. S., GIANNINI, P. C. F., PESSEDA, L. C. R. & BRANDT NETO, M. Holocene paleoclimatic reconstruction based on the Lagoa Dourada deposits, southern Brazil. *Geologica Acta*, 1(3): 289-302, 2003.

MINEROPAR MINERAIS DO PARANÁ S.A. Atlasgeo.pdf. Atlas geológico do estado do Paraná. Curitiba, 2001.

MOCOCHINSKI, A. Y. & SCHEER, M. B. Campos de altitude na Serra do Mar paranaense: aspectos florísticos. *Floresta*, 38(4):625-640, 2008.

NADELHOFFER, K. J. & Fry, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 52:1633-1640, 1988.

OLIVEIRA, M. A. T., BEHLING, H. & PESSEDA, L. C. R. Late-Pleistocene and mid-Holocene environmental changes in highland valley head areas of Santa Catarina state, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 26:55-67, 2008a.

OLIVEIRA, M. A. T., BEHLING, H., PESSEDA, L. C. R. & LIMA, G. L. Stratigraphy of near-valley head quaternary deposits and evidence of climate-driven slope-channel processes in southern Brazilian highlands. *Catena*, 75:77-92, 2008b.

PAROLIN, M., SVETLANA, M. & STEVAUX, J. C. Registros palinológicos e mudanças ambientais durante o holoceno de Taquarussu (MS). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 9(1):137-148, 2006.

PESSENDA, L. C. R., AVARENA, R., MELFI, A. J., TELLES, E. C. C., BOULET, R., VALENCIA, E. P. E. & TOMAZELLO, M. The use of carbon isotopes (^{13}C , ^{14}C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. *Radiocarbon*, 38:191-201, 1996a.

PESSENDA, L. C. R., VALENCIA, E. P. E., CAMARGO, P. B., TELLES, E. C. C., MARTINELLI, L. A., CERRI, C. C., ARAVENA, R. & ROZANSKI, K. Natural radiocarbon measurements in Brazilian soils developed on basic rocks. *Radiocarbon*, 38(2):203-208, 1996b.

PESSENDA, L. C. R., VALENCIA, E. P. E., ARAVENA, R., TELLES, E. C. C., & BOULET, R. 1998. Paleoclimate Studies in Brazil Using Carbon Isotopes in Soils. In *Environmental Geochemistry in the Tropics* (Julio C. Wasserman, Emmanuel V. Silva-Filho, Roberto Villas-Boas). Springer, Berlin/New York, vol. 72, p.7-16.

PESSENDA, L. C. R., BOULET, R., AVARENA, R., ROSOLEN, V., GOUVEIA, S. E. M., RIBEIRO, A. S. & LAMOTTE, M. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest-savanna transition zone, Brazilian Amazon region. *The Holocene*, 11(2):250-254, 2001a.

PESSENDA, L. C. R., GOUVEIA, S. E. M. & ARAVENA, R. Radiocarbon dating of total soil organic matter and humin fraction and its comparison with ^{14}C ages of fossil charcoal. *Radiocarbon*, 43:595-601, 2001b.

PESSENDA, L. C. R., OLIVEIRA, P. E., MOFATTO, M., MEDEIROS, V. B., GARCIA, R. J. F., AVARENA, R., BENDASSOLI, J. A., LEITE, A. Z., SAAD, A. R. & ETCHEBEHERE, M. L. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 ^{14}C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quaternary Research*, 71:437-452, 2009.

Programa de Proteção da Floresta Atlântica - PRÓ-ATLÂNTICA. 2002. Projeto Carta Geológica. Cartas: MI-2844-2 Ariri, MI-2843-1 Represa do Capivari, MI-2843-3 Morretes, MI-2858-1 Mundo Novo e MI-2858-3 Pedra Branca do Araraquara. Escala 1:50000. SEMA, Curitiba.

REIMER, P. J., BAILLIE, M. G. L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J. W., BERTRAND, C. J. H., BLACKWELL, P. G., BUCK, C. E., BURR, G. S., CUTLER, K. B., DAMON, P. E., EDWARDS, R. L., FAIRBANKS, R. G., FRIEDRICH, M., GUILDERTSON, T. P., HOGG, A. G., HUGHEN, K. A., KROMER, B., MCCORMAC, F. G., MANNING, S. W., RAMSEY, C. B., REIMER, R. W., REMMELE, S., SOUTHON, J. R., STUIVER, M., TALAMO, S., TAYLOR, F. W., VAN DER PLICHT, J. & WEYHENMEYER, C. E. IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 26 - 0 ka BP. Radiocarbon, 46:1029-1058, 2004.

RODERJAN, C.V. A floresta ombrófila densa altomontana no morro Anhangava, Quatro Barras, PR: aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1994. 119p. (Tese de Doutorado)

RODERJAN, C.V. & GRODSKI, L. Acompanhamento meteorológico em um ambiente de Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro Anhangava, Mun. de Quatro Barras – PR, no ano de 1993. Cadernos da Biodiversidade, 2(1):27-34, 1999.

RÜHLEMANN, C. R., MULITZA, S., MÜLLER, P. J., WEFER, G. & ZAHN, R. Warming of the tropical Atlantic Ocean and slowdown of thermohaline circulation during the last deglaciation. Nature, 402:511-514, 1999.

SAIA, S. E. M. G., PESSEDA, L.C.R., GOUVEIA, S.E.M., ARAVENA, R. & Bendassolli, J. A. Last glacial maximum (LGM) vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. Quaternary International, 184:195-201, 2008.

SAFFORD, H. F. Brazilian Páramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. J. Biogeogr., 34:1701-1722, 2007.

SCHEEL-YBERT, R., GOUVEIA, S. E. M., PESSEDA, L. C. R., ARAVENA, R, COUTINHO, L. M. & BOULET, R. Holocene palaeoenvironmental evolution in the São Paulo State (Brazil), based on anthracology and soil $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *The Holocene*, 13(1):73-81, 2003.

SCHEER, M.B. & MOCOCHINSKI, A.Y. 2009. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. *Biota Neotrop.* 9(2): <http://www.biotaneotropica.org.br/v9n2/pt/abstract?article+bn00609022009> (último acesso em 20/07/2009)

SCHEER, M.B.; MOCOCHINSKI, A.Y. & RODERJAN, C.V. Estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná (Capítulo II deste trabalho).

SCHEER, M.B., CURCIO, G.R & RODERJAN, C.V. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná (Capítulo III deste trabalho).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A existência de ambientes florestais, campestres e rupestres ainda primitivos (alguns provavelmente intocados) no alto das montanhas da Serra do Mar, situação diferente da encontrada nos ambientes de altitudes inferiores, por si só justifica a necessidade de seu conhecimento e efetiva proteção. É essencial que as ações antrópicas não prejudiquem o funcionamento desses ecossistemas, pois prestam inúmeros benefícios à sociedade. Tal dinâmica natural promove a continuidade dos processos de colonização e recolonização de táxons e futuras especiações. A diversidade, riqueza e endemismo verificada e a descrição recente de novas espécies apontam ao potencial de novas descobertas científicas nesses ambientes.

O conhecimento da estrutura arbórea e comparações com as de outras regiões altomontanas são base para novos estudos, os quais devem envolver: potenciais hidrológicos de contribuição para a qualidade e quantidade de água nas cabeceiras de bacias hidrográficas, utilizadas como mananciais de abastecimento, principalmente em períodos de escassez; novas estimativas das capacidades de estoque e fixação de carbono; restauração ambiental; controle e monitoramento de espécies exóticas invasoras; relações da estrutura e dinâmica das diversas formas de vida e mapeamentos em escalas locais, regionais e globais.

Os altos valores estimados para os potenciais dos solos de ambientes altomontanos de estoque de carbono e de retenção hídrica alertam para a necessidade de medidas imediatas para sua proteção. Isso se justifica pelas constantes ameaças (incêndios, execução de obras de infra-estrutura sem preocupação com impactos ambientais, exploração mineral, contaminação biológica, caça, turismo desordenado, etc, Anexo 4) com alto risco de se perder suas funções e serviços, com severos prejuízos econômicos.

Esses ambientes, principalmente os com características primitivas, como as cumeeiras estudadas na Serra da Igreja, podem ser tratados como sítios para investigações de mudanças na vegetação no passado em resposta às mudanças

climáticas, bem como o monitoramento da vegetação e do solo e suas futuras respostas a essas mudanças.

Portanto, é imprescindível a criação, implantação e manejo de Unidades de Conservação (UC's), tratando-se ainda que, em termos de custos, os ambientes altomontanos são remanescentes relativamente pequenos, sendo a maior parte teoricamente protegida por lei, com baixos potenciais de utilização agrosilvipastoril e imobiliária, embora tenham sofrido constante pressão. Ressalta-se que a criação de UC's é somente um primeiro avanço, não sendo suficiente caso não existam recursos para sua efetiva implantação e manejo. Estudos da viabilidade e execução de outros mecanismos de valorização dos ambientes altomontanos, os quais gerem recursos diretos para sua preservação, também são alternativas que devem ser consideradas. Pesquisas são essenciais para entendimento do funcionamento e especialidades desses ecossistemas para subsidiar a conscientização da sociedade de sua verdadeira importância, bem como orientar as decisões de nossos líderes e governantes para o planejamento e execução de programas de efetiva proteção e sustentabilidade.

ANEXOS

Anexo 1 - Etapas para preparação da humina da matéria orgânica do solo para datação por ^{14}C . a) Amostra de horizonte hístico após primeira flotação em HCl para eliminação de fragmentos vegetais, secada e peneirada a 210 μm ; b) Nova flotação do material peneirado; c) Digestão ácida entre 70 e 80 $^{\circ}\text{C}$; d) Precipitado após repetidas lavagens com água deionizada; e) Material submetido à reação com pirofosfato e hidróxido de sódio; f) Material submetido à reação com pirofosfato e hidróxido de sódio; g) Precipitados submetidos à lavagens após reação alcalina; h) Precipitado hidrólise ácida em torno de 100 $^{\circ}\text{C}$; i) Precipitado após sucessivas lavagens até pH entre 3 e 4; j) fração humina seca em estufa a 40 $^{\circ}\text{C}$, antes de nova moagem, peneiramento a 105 μm e inspeção do envio para análise radiocarbônica por espectrometria de aceleração de massa – AMS; k) fração humina seca e; l) fração humina ligada à fase mineral de horizonte Cg

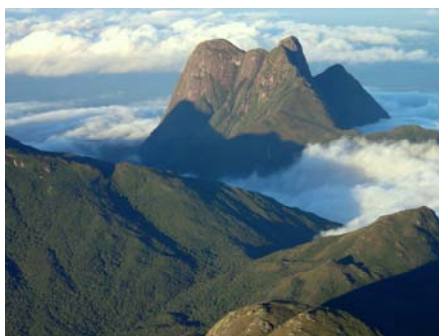


Anexo 2 - Montanhas amostradas na Serra do Mar paranaense. a) Vista aérea dos picos amostrados no estudo fitossociológico, na Serra do Ibitiraquire. Da esquerda para direita, picos Ferraria, Taipabuçu, Caratuva e Itapiroca; b) Pico Paraná, ponte culminante (1887 m s.n.m.) da região Sul do Brasil; c) Detalhe dos picos amostrados no estudo florístico na Serra do Ibitiraquire, incluindo os picos Ciririca e Agudo da Cotia ao fundo; d) Vista de Cume na Serra da Prata; e) Vista aérea de montanha na Serra da Prata; f) Um dos trechos do estudo fitossociológico na Serra da Prata; g) Vista aérea da Serra da Igreja; h) Abertura do perfil 2, em Organossolo, na Serra da Igreja; i) Detalhe de campo altomontano na Serra da Igreja; j) Floresta Altomontana na Serra Gigante; k) Cumes na Serra Gigante; e l) Alguns dos picos amostrados no estudo fitossociológico na Serra Gigante

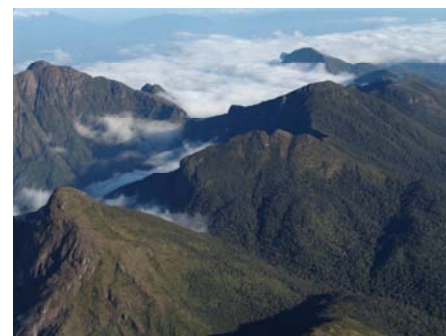
a



b



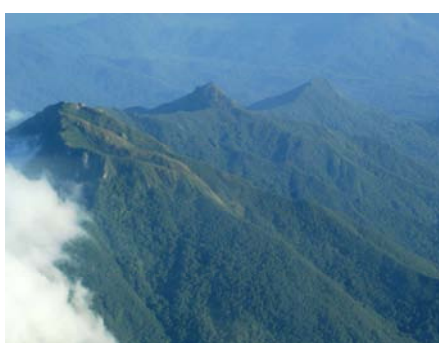
c



d



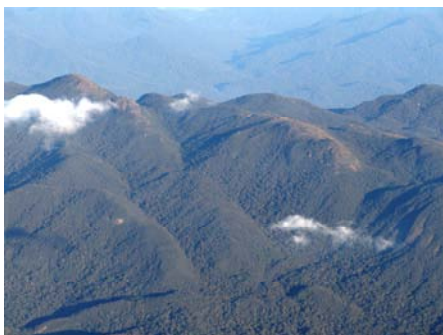
e



f



g



h



i



j



k

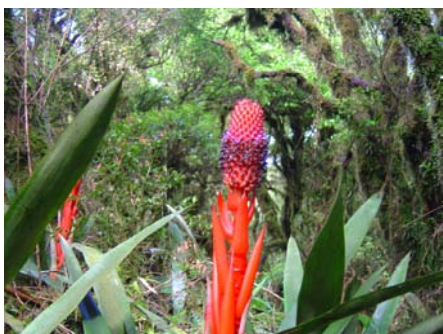


l



Anexo 3 - Peculiaridades e ameaças na Serra do Mar paranaense. a) *Aechmea ornata*, bromélia comum nas florestas altomontanas no Paraná; b) *Manettia cordifolia* c) *Syphocampylus fimbriatus* d) Belezas cênicas dos ambientes altomontanos; e) Tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*) em floresta altomontana na Serra Gigante; f) Detalhe Tamanduá-mirim; g) Ambientes altomontanos ao fundo e mananciais de abastecimento público, represa do Iraí na região metropolitana de Curitiba; h) Incêndio em florestas altomontanas primárias, ocorrido em outubro de 2007, no Pico Caratuva, Parque Estadual do Pico Paraná; i) Detalhe incêndio; j) Trilha de acesso após incêndio; k) Encosta do Pico Caratuva após 2 anos do incêndio, mostrando árvores tombadas e a baixa capacidade de regeneração natural desses ambientes; e l) Detalhe mostrando a invasão por *Pinus sp.*

a



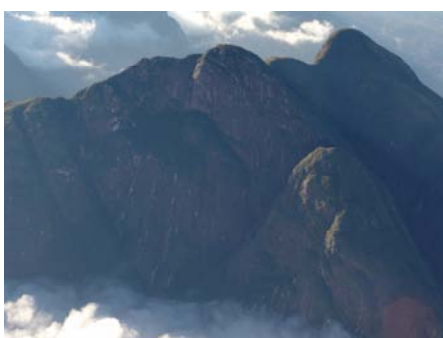
b



c



d



e



f



g



h



i



j



k



l

