

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

BIOMASSA VEGETAL, ESTOQUE DE CARBONO E
DINÂMICA EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA MONTANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PATRIKK JOHN MARTINS

GUARAPUAVA-PR

2011

PATRIKK JOHN MARTINS

**BIOMASSA VEGETAL, ESTOQUE DE CARBONO E DINÂMICA EM UM
FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA**

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

Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick
Orientador

Prof. Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa
Co-orientador

Prof. Dr. Rafaelo Balbinot
Co-orientador

GUARAPUAVA-PR

2011

M386b Martins, Patrikk John
Biomassa vegetal, estoque de carbono e dinâmica em um fragmento de floresta ombrófila mista montana / Patrikk John Martins. – – Guarapuava, 2011
xiii, 86 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2011

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick

Co-orientador: Prof. Dr. Rafaelo Balbinot

Banca examinadora: Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda

Bibliografia

1. Araucária. 2. Fitossociologia. 3. Silvicultura. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

CDD 634.928

PATRIKK JOHN MARTINS

**"BIOMASSA VEGETAL, ESTOQUE DE CARBONO E DINÂMICA EM UM FRAGMENTO
DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA"**

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

Aprovada em 17 de junho de 2011.


Prof. Dr. Luciano Faria Watzlawick
(UNICENTRO)


Prof. Dr. Rafael Balbinot
(UFSM/RS)


Prof. Dr. Gabriel de Magalhães Miranda
(UNICENTRO)


Prof. Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa
(UNICENTRO)

GUARAPUAVA-PR

2011

BIOGRAFIA

PATRIKK JOHN MARTINS, pai do Pedro e marido da Sandra, nasceu em Guarapuava – PR, em 6 de setembro de 1986, filho de Marlene Martins e Juarez Martins, ambos agricultores. Iniciou os estudos na extinta Escola Rural Municipal Dom João VI em Cantagalo, PR, onde graças à Prof^ª. Rosimeri Rocha, cursou os quatro primeiros anos do ensino fundamental. Formou-se Técnico em Agropecuária, em 2003, pelo Centro Estadual de Educação Profissional Arlindo Ribeiro – CEEPAR. Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Estadual do Centro Oeste – Unicentro, em 2004, concluindo em 2009. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Mestrado em Produção Vegetal, da UNICENTRO, no ano de 2009, concluindo no ano de 2011.

AGRADECIMENTOS

À Deus, sem o qual nada seria possível.

À minha família, pelo apoio, incentivo, compreensão pela ausência em muitos momentos e o carinho que fortalecia o espírito nos momentos difíceis.

Aos meus colegas de laboratório, Lúcio de Paula Amaral, Regiane Aparecida Ferreira, Vivian de Geus Martins, Mariele Machado, Graciele Ferreira, Raul Silvestre, Aurélio Lourenço Rodrigues e Ângelo Augusto Ebling, que me auxiliaram nos levantamentos de dados a campo, pela amizade e apoio.

A Sr^a. Nadina Koaschinak e sua família, que cederam a área para instalação da parcela permanente.

À Fundação Rureco, que possibilitou o desenvolvimento desse estudo conciliado ao trabalho da instituição e, principalmente, por abrir as portas para a pesquisa em pequenas propriedades no município de Boa Ventura do São Roque.

Aos meus colegas de trabalho Amilton dos Santos, Luiz Fernando Machado Krämer, Luiz Tomacheski, Ezequiel Metzger, Eliton Lopes dos Santos e Jorge Augusto Schanuel, pela amizade e por todo apoio dado para que fosse possível cumprir todas as tarefas na instituição.

Aos Professores Dr. Gabriel de Magalhães Miranda, Dr. Rafaelo Balbinot, Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa pelas correções e contribuições que foram de enorme valia.

Ao Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick, pela amizade, pelas oportunidades e pela determinação em orientar um agrônomo que ousou em trabalhar com florestas, o meu sincero respeito e admiração.

A minha mãe que pelejou muito para proporcionar estudos aos seus filhos e é exemplo de luta e paciência.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	xii
GENERAL ABSTRACT.....	xiii

CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO E DINÂMICA DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA EM BOA VENTURA DO SÃO ROQUE, PARANÁ, BRASIL..... 1

RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 Cálculos Fitossociológicos	4
2.2 Dinâmica.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1 Área de Estudo	7
3.2 Cálculos dos índices fitossociológicos e diversidade.....	9
3.3 Dinâmica.....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
5. CONCLUSÕES	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

CAPÍTULO II: EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E CARBONO ACIMA DO SOLO EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA NO CENTRO OESTE DO PARANÁ..... 24

RESUMO.....	24
ABSTRACT	25
1. INTRODUÇÃO	26
2. REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1. Biomassa nas Florestas.....	27
2.2. Carbono nas Florestas.....	28
2.3. Modelos de Regressão	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Área de estudo.....	29
3.2. Material experimental.....	29
3.2.1 Quantificação de Biomassa.....	29
3.2.2 Quantificação do Carbono	31
3.2.3 Alometria	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Ajustes das equações para estimativas de biomassa	33
4.1.1 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da parte aérea	33
4.1.2 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da madeira do fuste	34
4.1.3 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da casca do fuste	36
4.1.4 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da folhagem	37
4.1.5 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca dos galhos vivos.....	39
4.1.6 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca dos galhos mortos	41
4.1.7 Biomassa seca da serapilheira.....	42
4.1.8 Biomassa seca do sub-bosque	43
4.2 Ajustes das equações para estimativas de carbono	43

4.2.1 Ajuste de equações para estimativa de carbono da parte aérea total.....	43
4.2.2 Ajuste de equações para estimativa do carbono da madeira do fuste.....	44
4.2.3 Ajuste de equações para estimativa do carbono da casca do fuste.....	46
4.2.4 Ajuste de equações para estimativa do carbono da folhagem.....	47
4.2.5 Ajuste de equações para estimativa do carbono dos galhos vivos.....	49
4.2.6 Ajuste de equações para estimativa do carbono dos galhos mortos.....	50
4.2.7 Carbono da serapilheira	52
4.2.8 Carbono do sub-bosque	52
4.3 Considerações sobre o capítulo e síntese dos resultados.....	52
5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

CAPITULO III: VARIAÇÃO NOS TEORES DE CARBONO EM ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA E USO DE FATORES DE CONVERSÃO	57
--	----

RESUMO.....	57
ABSTRACT	58
1. INTRODUÇÃO	59
2. REFERENCIAL TEÓRICO	60
3. MATERIAL E MÉTODOS	61
3.1 Quantificação do Carbono	61
3.2 Análise Estatística	62
3.3 Comparação dos teores de carbono com o fator de conversão de 50 %.....	62
3.4 Agrupamento das espécies conforme grupo ecológico	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1 Variações nos teores de carbono entre componentes e espécies.....	63
4.2 Análise de agrupamentos em função dos teores de carbono dos componentes das árvores	67
5. CONCLUSÕES	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Composição florística da Floresta Ombrófila Mista Montana estudada em 2007 e 2009 em Boa Ventura do São Roque, – PR.....	11
Tabela 2 – Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas na Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR, em 2007.	13
Tabela 3 – Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas na Floresta Ombrófila Mista Montana, Boa Ventura do São Roque – PR, em 2009.....	14
Tabela 4 – Número de indivíduos ingressos nas diferentes classes diamétricas, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.....	19
Tabela 5 – Incremento Periódico Anual (IPA) das espécies amostradas, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.....	20

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Modelos matemáticos utilizados para o ajuste.....	32
Tabela 2 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da parte aérea em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	33
Tabela 3 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da madeira do fuste em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.....	35
Tabela 4 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da casca do fuste em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	36
Tabela 5 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da folhagem em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	38
Tabela 6 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca dos galhos vivos em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	40
Tabela 7 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca dos galhos mortos em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.....	41
Tabela 8 – Resultados do ajuste de equações para estimativa de carbono da parte aérea total em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	43
Tabela 9 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono da madeira do fuste em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	45
Tabela 10 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono da casca do fuste em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	46
Tabela 11 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono da folhagem em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	48
Tabela 12 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono dos galhos	

	vivos em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	49
Tabela 13 –	Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono dos galhos mortos em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.	51
Tabela 14 –	Resultado das melhores equações para estimativa da Biomassa seca nos componentes das árvores da Floresta Ombrófila Mista Montana, Boa Ventura do São Roque, PR.....	53
Tabela 15 –	Resultado das melhores equações para estimativa do carbono nos componentes das árvores da Floresta Ombrófila Mista Montana, Boa Ventura do São Roque, PR.....	53
Tabela 16 –	Estoque de biomassa seca e carbono orgânico nos componentes das árvores da Floresta Ombrófila Mista Montana, Boa Ventura do São Roque, PR.	53

CAPÍTULO III

Tabela 1 –	Teores de carbono (%) por componente das espécies amostradas em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – Pr, 2009.	63
Tabela 2 –	Análise de Variância entre os componentes das árvores avaliadas.	63
Tabela 3 –	Comparação dos teores de carbono entre as espécies da Floresta Ombrófila Mista e um fator de conversão, estimativa dos valores quando usado o fator de conversão de 50%.	66
Tabela 4 –	Classificação ecológica das espécies avaliadas em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Boa Ventura do São Roque – PR..	68

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO I

Figura 1. Localização da área de estudo em Boa Ventura do São Roque – PR. (adaptado IBGE, 2011).	7
Figura 2. Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Antropizada estudado em Boa Ventura do São Roque – PR.	8
Figura 3. Configuração esquemática da parcela permanente e ampliação da sub-parcela.	8
Figura 4. Distribuição das cinco espécies com o maior VI em 2007, em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.	16
Figura 5. Distribuição das cinco espécies com o maior VI em 2009, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.	17
Figura 6. Distribuição do VI das árvores mortas, em 2007, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.	17
Figura 7. Distribuição diamétrica, no período de monitoramento em 2007 e 2009, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.	18

CAPÍTULO II

Figura 1. Paisagem dos compartimentos com auxílio de balança de varão.	30
Figura 2. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca da parte aérea.	34
Figura 3. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca da madeira do fuste.	35
Figura 4. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca da casca do fuste.	37
Figura 5. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca da folhagem.	39
Figura 6. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca dos galhos vivos.	40
Figura 7. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca dos galhos mortos.	42
Figura 8. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono da parte aérea.	44
Figura 9. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono da madeira do fuste.	45
Figura 10. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono da casca do fuste.	47
Figura 11. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono da folhagem.	48
Figura 12. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono dos galhos vivos.	50
Figura 13. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono dos galhos mortos.	51

CAPÍTULO III

Figura 1. Representação gráfica da média dos teores de carbono por espécie.	65
Figura 2. Agrupamento das espécies em função do teor médio de carbono em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Boa Ventura do São Roque – PR.	67

RESUMO GERAL

Patrikk John Martins. Biomassa Vegetal, Estoque de Carbono e Dinâmica em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana.

Os objetivos deste trabalho foram caracterizar a fitossociologia e dinâmica de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana no município de Boa Ventura do São Roque, Paraná, ajustar e selecionar equações alométricas para estimar a biomassa e carbono acima do solo, e avaliar os teores de carbono de 12 espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Montana e seus componentes, bem como comparar os teores observados com o fator de conversão de 50%, e verificar a influência do grupo ecológico das espécies em sua capacidade de fixar carbono. O trabalho foi dividido em três capítulos. No primeiro capítulo foi feita a caracterização da fitossociologia e da dinâmica florestal. Os dados foram coletados nos anos de 2007 e 2009, em parcela permanente. No segundo capítulo foi feito o ajuste e a seleção das equações de regressão para estimar a biomassa da parte aérea e dos compartimentos madeira do fuste, casca do fuste, galhos vivos, galhos mortos e folhagem. Foram utilizados 20 modelos de equações de regressão comumente utilizados na literatura. No ajuste das equações utilizou-se o método dos mínimos quadrados, e para a seleção das melhores equações foram utilizadas as estatísticas do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e análise gráfica da distribuição dos resíduos. Para a biomassa, os melhores resultados foram obtidos para biomassa da casca e madeira do fuste. Para os compartimentos galhos mortos, galhos vivos, folhagem e parte aérea os resultados foram menos expressivos e as equações apresentaram estimativas com menor precisão. No ajuste das equações para a estimativa do carbono, os melhores resultados foram obtidos para o carbono da casca e madeira do fuste. Já para os compartimentos galhos mortos, galhos vivos, folhagem e parte aérea os resultados foram menos expressivos e as equações apresentaram estimativas com menor precisão. No terceiro capítulo a análise estatística demonstrou não haver diferença significativa a um nível de 5% de probabilidade entre os teores de carbono encontrado para os diferentes componentes das árvores. Considerando os teores das 12 espécies avaliadas, houve diferença significativa apenas entre as espécies *Nectandra lanceolata*, espécie que apresentou o maior teor médio (45,06%), e *Cestrum* sp., que apresentou o menor teor médio (41,77%). Comparando os teores médios observados em todas as espécies com o fator de conversão amplamente utilizado de 50%, constatou-se que o mesmo superestima a quantidade de carbono nas árvores em uma média de 14,27%, gerando valores não representativos sobre a capacidade das árvores em fixar o carbono.

Palavras-chaves: floresta com Araucária; regressão linear; análise de agrupamento; fator de conversão.

GENERAL ABSTRACT

Biomass Production, Carbon Accumulation and Dynamics in a Mixed Rain Forest

The goals of this work were to characterize the phytosociology and dynamics of a Mixed Rain Forest in the city of Boa Ventura do São Roque, Paraná State; to adjust and select allometrics models for the estimation of aboveground biomass and carbon; assess the carbon content of 12 arboreal species and its components; compare the carbon content of the species with the conversion factor of 50%; and evaluate the ecological grouping influence over the species' carbon fixation capacity. This work was divided into three chapters. The first one described the phytosociology and dynamics of the studied forest. Data was collected between the years 2007 and 2009, from permanent samples. The second chapter reports the adjustment and selection of the equations used to predict the aboveground biomass of the whole tree and its components (stem, bark, alive branches, dead branches and foliage). Twenty models were tested for this study commonly used in the literature. For the adjustment of the equations, the least squares' method was applied, and the selection of the best equations was based on the statistics such as the adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}), standard error of the estimate (S_{yx}) and graphics analysis of the residues distributions. The predictions for the whole tree and other components (stem, alive branches, foliage) did not get good results. The best results for the carbon estimation in the tree's components were found in the bark and dead branches. For the other components and whole tree the results were not expressive. On the third chapter, the statistical analysis did not show differences at 5% of probability, among the carbon content found in the trees' components. Comparing the 12 species, there were differences only between *Nectandra lanceolata*, which presented the highest carbon content mean (45,06%), and *Cestrum* sp., which got the lowest carbon content mean (41,77%). The comparison between the carbon content means, found for all the evaluated species, and the 50% conversion factor widely used, showed that the conversion factor overestimates the carbon content in the trees at an average rate of 14,27%, generating values not representative of the tree carbon fixation capacity.

Key-words: Araucaria's forest; linear regression; grouping analysis; conversion factor; ecological groups; mathematical

CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO E DINÂMICA DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA EM BOA VENTURA DO SÃO ROQUE, PARANÁ, BRASIL.

RESUMO

As mudanças na composição florística, estrutura fitossociológica e os processos dinâmicos do crescimento: ingresso, mortalidade e incremento foram estudados em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, Paraná, Brasil. Em 2007, todas as árvores com DAP ≥ 5 cm foram identificadas, etiquetadas, localizadas e tiveram o DAP medido. Em 2009, todas as árvores com DAP ≥ 5 cm, foram medidas, os indivíduos que não haviam sido computados em 2007 foram considerados como ingressos e os não encontrados foram considerados como mortos. Em 2007 haviam sido computados 2596 indivíduos.ha⁻¹, de 25 famílias, 40 gêneros e 45 espécies. Em 2009, foram computadas 2558 indivíduos.ha⁻¹, de 27 famílias, 41 gêneros e 47 espécies. Entretanto não houve dominância de espécies sendo que houve uma distribuição de frequência bem homogênea dando destaque para *Matayba elaeagnoides* Radlk. (9,8% - 2007; 9,95% - 2009). Apenas seis espécies dominam a maior parte da floresta em termos estruturais, representando 74,33% e 76,06% da área basal, em 2007 e 2009, respectivamente *Matayba elaeagnoides* Radlk., *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Ocotea puberula* (Rich.) Nees, *Allophylus edulis* (A. St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk., *Dicksonia sellowiana* Hook., *Cupania vernalis* Cambess. A distribuição diamétrica da floresta, tanto em 2007 quanto em 2009, apresentou a forma de “J” invertido, entretanto, nota-se uma sensível diminuição no número de indivíduos na primeira classe, e conseqüentemente um aumento no número de indivíduos nas demais classes, denotando crescimento da floresta. A floresta apresentou mortalidade de 20 indivíduos.ha⁻¹ (0,41% ao ano) e ingressos de 86 indivíduos.ha⁻¹ (1,75% ao ano), de modo que a dinâmica se produz de forma gradativa, com um incremento médio anual de 0,328 cm.ano⁻¹.

Palavras chave: Floresta com Araucária, Crescimento, Fitossociologia.

**CHAPTER I: CHARACTERIZATION AND DYNAMICS OF AN ARAUCARIA
FOREST REMAINING IN BOA VENTURA DO SÃO ROQUE, PARANÁ, BRAZIL.**

ABSTRACT

The changes in the floristic composition, phytosociological structure, and in the dynamics process of growth as recruitment, mortality and increment, were evaluated in a Araucaria Forest remaining in Boa Ventura do São Roque, Paraná State, Brazil. In 2007, all the trees with $DBH \geq 5$ cm were identified, labeled, plotted, and got their BHD measured. In 2009, all the trees with $DBH \geq 5$ were measured, the recruitments were counted and the missing trees were considered dead. In 2007, were counted 2596 plants. ha^{-1} , covering 25 families, 40 genera and 45 species. In 2009 were counted 2558 plants. ha^{-1} , of 27 families, 41 genera and 47 species. However, there was not dominant species, demonstrated by the homogeneity of the frequency distribution. Highlights might be given to *Matayba elaeagnoides* Radlk. (RD 9,8% - 2007; 9,95% - 2009). Only six species are dominant in the most part of the forest, representing 74,33% and 76,06% of the total basal area, in 2007 and 2009, respectively: *Matayba elaeagnoides* Radlk., *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Ocotea puberula* (Rich.) Nees, *Allophylus edulis* (A. St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk., *Dicksonia sellowiana* Hook., *Cupania vernalis* Cambess. The diametric distribution of the forest even in 2007 and 2009 shown the inverted "J" curve tendency. Although, it is noticed a little decline in the tree's number in the first diameter class, during the studied time. The following classes showed the number of trees increasing. The forest mortality rate was 20 plants. ha^{-1} (0,41% per year), and the recruitment was 86 plants. ha^{-1} (1,75% per year). The mean annual increment found for this forest was 0,328 cm. $year^{-1}$.

Key-words: Araucaria' forest, Forest Growth, Phytosociology

1. INTRODUÇÃO

A intensa exploração florestal ocorrida no passado, somada à abertura de novas áreas para cultivos agrícolas restringiu a vegetação do Estado do Paraná a áreas de topos de morros, encostas e áreas úmidas. Exemplo disso é a Escarpa da Esperança. Essas áreas sem aptidão agrícola são importantes remanescentes florestais, e tem a função de abrigar a fauna e flora existentes.

O entorno da área estudada possui aptidão agrícola, fragmentando a floresta e extraindo produtos de interesse econômico da floresta, como é o caso da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Ktze., principal espécie dessa tipologia florestal. A extração de madeira e criação extensiva de animais reduziu o número de espécies de alto valor econômico.

Estudos fitossociológicos são de máxima importância para a caracterização do papel exercido por cada espécie dentro da fitocenose e também contribuem de forma decisiva na indicação dos estágios sucessionais e para melhor avaliação da influência de fatores de clima, solo e ação antrópica nas comunidades vegetais (GROMBONE *et al.*, 1990).

Desta forma, o estudo da vegetação é importante não só para a taxonomia vegetal e fitogeografia, mas também no âmbito da pesquisa aplicada e de gestão, principalmente, como subsídio à silvicultura, manejo de bacias hidrográficas, manejo de fauna, preservação de táxons, conservação do ambiente e interpretação do potencial da terra para uso agropecuário (LONGHI, 1997). Utilizando estas ferramentas de auxílio na intervenção das florestas pode-se gerar resultados que satisfaçam ambientalmente, economicamente e socialmente a comunidade que pretende trabalhar com produtos florestais.

O conhecimento da composição florística resultante da ação de fatores ambientais e antrópicos e da estrutura fitossociológica dos remanescentes da Floresta Ombrófila Mista é necessário para o entendimento da dinâmica desta vegetação, bem como, dar suporte às ações que visem à preservação dessas áreas.

Estudar a dinâmica de uma floresta é imprescindível para conhecer o comportamento da mesma nos diferentes estágios de sucessão, e assim, seja feito um aproveitamento racional e garantindo a sobrevivência das florestas naturais. Para isso é necessária a aplicação de técnicas silviculturais adequadas, baseadas na ecologia de cada tipologia florestal. A aplicação de técnicas corretas de manejo florestal, assim como para o aproveitamento permanente das florestas, deve tomar com base o conhecimento sobre a sua composição e estrutura

Segundo Odum (1985), dinâmica é o processo ou são mudanças que ocorrem antes que a vegetação de um determinado local atinja uma relativa estabilidade em suas características fisiológicas, estruturais e florísticas. O autor afirma ainda que, em qualquer ecossistema, uma comunidade em evolução inicia pelas fases pioneiras e com o tempo vai sendo substituída pelas fases transitórias ou seres, até que atinja a estagnação no processo de sucessão, alcançando um equilíbrio dinâmico para as condições locais, denominado de clímax.

Para Husch *et al.* (1972), a estrutura de uma floresta consiste na distribuição das espécies e indivíduos, como resultado dos hábitos de crescimento e das condições ambientais onde se originou e se desenvolveu. Os autores ainda distinguem dois tipos básicos de estrutura em relação à idade dos indivíduos; estrutura equiânia e estrutura multiânia, sendo esta última, característica das florestas naturais, devido às várias idades e tamanhos.

Alder e Synnot (1992) sugerem para a avaliação do crescimento em florestas mistas ao longo de um período, três componentes a serem analisados: incremento (crescimento em diâmetro das árvores individuais); mortalidade (número de árvores que morreram no período) e ingresso (número ou volume de árvores que pelo seu desenvolvimento, foram incluídas nas classes de tamanho mensuráveis da regeneração).

Verifica-se assim, a necessidade da realização de estudos que retratem a realidade da floresta, no que tange à florística e estrutura, para que estas informações possam ser úteis na elaboração e planejamento de ações que objetivem a conservação ou mesmo a recuperação desta formação florestal, procurando no máximo retratar a sua diversidade. Portanto o presente estudo teve como objetivos conhecer a diversidade florística, e analisar a estrutura fitossociológica e dinâmica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, localizada no município de Boa Ventura do São Roque, estado do Paraná, nos anos de 2007 e 2009.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cálculos Fitossociológicos

A Floresta Ombrófila Mista compreende as formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul do Brasil, com disjunções na região Sudeste e em países vizinhos como Paraguai e Argentina (RODERJAN *et al.*, 2002). Ainda segundo os mesmos autores, encontra-se predominantemente entre 800 e 1200 metros de altitude, podendo eventualmente

ocorrer acima e abaixo desses limites. A *Araucaria angustifolia* sem dúvida, é a espécie mais importante que caracteriza essa formação florestal (NASCIMENTO *et al.*, 2001). Para Castella e Britez (2004), os remanescentes deste ecossistema foram extremamente fragmentados, não chegando a 5% da área original, sendo que apenas 0,7% podem ser considerados como sendo áreas primitivas. Tal fato pode ser atribuído à exploração madeireira, o que tem contribuído significativamente para o empobrecimento desse ecossistema.

Os estudos sobre a composição florística e a estrutura fitossociológica das formações florestais são de fundamental importância, pois oferecem subsídios para a compreensão da estrutura e da dinâmica destas formações, parâmetros imprescindíveis para o manejo e regeneração das diferentes comunidades vegetais (MANZATTO, 2001). Conforme Sampaio *et al.* (1996), nenhum parâmetro fitossociológico isolado fornece uma idéia ecológica clara da comunidade ou das populações vegetais. Em conjunto, podem caracterizar formações (e suas subdivisões) e suprir informações sobre estágios de desenvolvimento da comunidade e das populações, distribuição de recursos ambientais entre populações, possibilidades de utilização dos recursos vegetais, entre outros. Os principais parâmetros fitossociológicos usualmente calculados são: Densidade Relativa e Absoluta, Dominância Relativa e Absoluta, Frequência Relativa e Absoluta e Índice de Valor de Importância. A Densidade Absoluta (DA) trata-se do número de indivíduos dentro de uma associação vegetal, e é sempre referido em uma unidade de área, enquanto que a Densidade Relativa (DR) refere-se à proporção entre o número de indivíduos de uma determinada espécie em relação ao número total de indivíduos amostrados. Este parâmetro fornece a idéia do tamanho da população, sem levar em conta o tamanho dos indivíduos ou mesmo sua distribuição espacial (MARTINS, 1991). Dominância Absoluta (DoA) é a soma da área basal de todos os indivíduos da espécie presente na amostragem, enquanto que a Dominância Relativa (DoR) é a relação percentual entre a área basal total da espécie e a área basal total por hectare. A dominância permite avaliar a influência que cada espécie exerce sobre os demais componentes do ecossistema, ou seja, a taxa de ocupação do ambiente por um dado táxon ou uma comunidade, permitindo inferir sobre o grau de utilização dos recursos do ambiente por parte da população. Por meio deste parâmetro é possível medir a potencialidade produtiva da floresta, constituindo um parâmetro útil para a determinação da qualidade de um dado trecho florestal. A Área Basal é um dos parâmetros mais utilizados para mensurar a dominância de árvores em uma floresta em função da rapidez e da facilidade de sua mensuração (LONGHI *et al.*, 1992). Frequência Absoluta (FA) é definida pela proporção entre o número de unidades

amostrais, na qual a espécie ocorre e o número total de unidades amostrais, expressa em porcentagem. Frequência Relativa (FR) expressa em porcentagem, entre a frequência de cada espécie e a frequência total por hectare. Portanto, expressa a relação entre unidades onde ocorre a espécie e o total de unidades da amostra. Este parâmetro mede a regularidade da distribuição horizontal de cada espécie sobre o terreno, ou seja, a sua dispersão média (HOSOKAWA *et al.*, 1998). O Valor de Importância (VI) é a combinação, em uma única expressão, dos valores relativos de densidade, dominância e frequência, valor este que permite uma caracterização da importância de cada espécie na floresta (LAMPRECHT, 1990).

2.2 Dinâmica

A dinâmica sucessional em florestas pode ser caracterizada, principalmente, pelas mudanças na flora e na fauna, decorrentes em determinado período. Em tese, florísticamente, a dinâmica sucessional pode ser mensurada pela entrada (ingresso), saída (mortalidade) e crescimento das espécies que participam da estrutura florestal. As mudanças florísticas provocadas pela mortalidade e pelo ingresso de plantas podem ser decorrentes de vários fatores: predação/herbívora, competição espacial, doenças e perturbações naturais. Tais fatores são importantes para a dinâmica de ecossistemas florestais, pois geram heterogeneidade ambiental e contribuem para o aumento da diversidade das espécies, ou ainda, são bases para a reprodução, ingressos, especialização e partilha de recursos (WHITMORE, 1983).

O incremento periódico anual é um dos fatores de primordial importância para o estudo da dinâmica florestal. Schneider e Finger (2000) comentam que podem ser considerados os seguintes procedimentos: determinação por meio de medições periódicas do Diâmetro a Altura do Peito (DAP) das árvores em parcelas permanentes, determinação pela diferença de volume entre duas ocasiões do inventário florestal e determinação mediante análise de tronco. A determinação do incremento de uma árvore nada mais é do que acompanhar o seu crescimento, ou seja, acompanhar a atividade meristemática, que tem como consequência o alongamento e o aumento em diâmetro das raízes, galhos e troncos, causando alterações no peso, volume e na forma da árvore (SOUZA, 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada no município de Boa Ventura de São Roque – PR, como representado na Figura 1, na Região Fitogeográfica chamada de Terceiro Planalto Paranaense. A vegetação local é a Floresta Ombrófila Mista Montana (IBGE, 1992). Conforme Embrapa (2006), os solos são classificados predominantemente como Latossolos e Neossolos e de acordo a classificação de Köppen-Geiger, o clima caracteriza-se como subtropical úmido mesotérmico-Cfb, sem estação seca definida e com verão temperado. No inverno a temperatura mínima média é superior a 4° C e a média máxima inferior a 19° C.

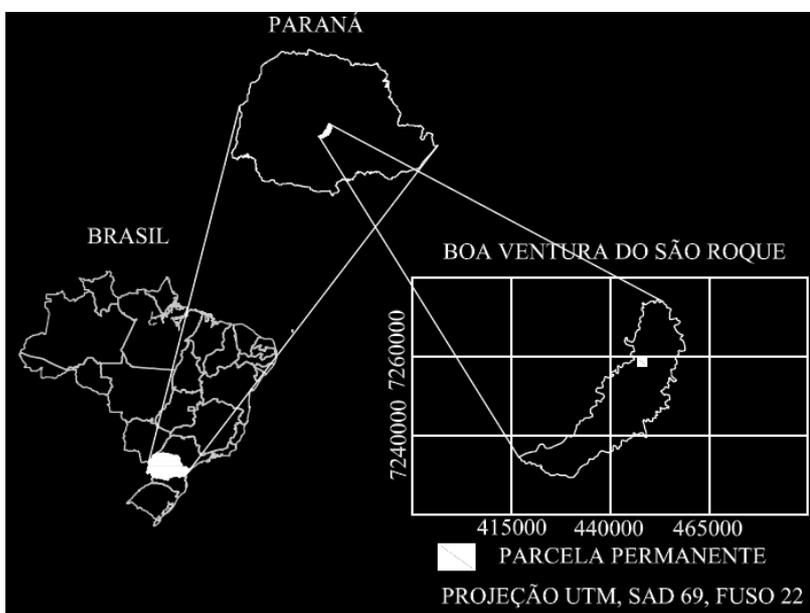


Figura 1. Localização da área de estudo em Boa Ventura do São Roque – PR. (adaptado IBGE, 2011).

O fragmento onde a parcela permanente está inserida tem aproximadamente 5 hectares de floresta. O fragmento sofreu forte exploração florestal no passado, retirando as árvores de maior valor econômico, sendo explorada posteriormente para pastoreio de bovinos sob a floresta remanescente, a cerca de 15 anos a área não é mais explorada de nenhuma forma. A Figura 2 representa a área onde está localizada a parcela permanente, podemos observar que trata-se de uma área com declividade acentuada podendo chegar a 45 graus em alguns locais na parcela permanente, com declividade média de 20 graus.



Figura 2. Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Antropizada estudado em Boa Ventura do São Roque – PR.

A primeira etapa do trabalho consistiu na implantação de uma parcela permanente, com área de 5.000 m² (50 x 100 m), sub-divididas em 50 sub-unidades contíguas de 100 m² (10 x 10 m). A parcela permanente foi demarcada em campo com a utilização de balizas e bússola.

Na realização do levantamento de campo, foi empregado o Método de Amostragem de Área Fixa (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Na Figura 3 é representada esquematicamente a parcela permanente de 50 x 100 m e as subparcelas de 10 x 10 m.

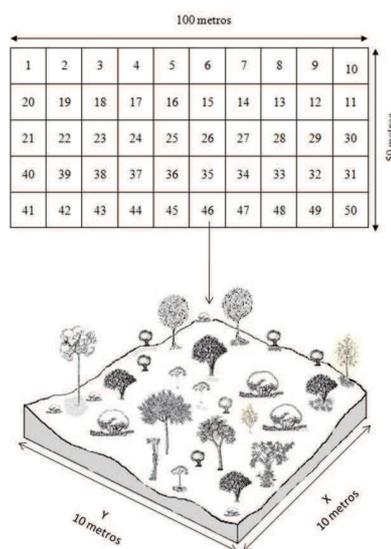


Figura 3. Configuração esquemática da parcela permanente e ampliação da sub-parcela.

Foram medidas todas as árvores com DAP ≥ 5 cm, sendo as mesmas numeradas com etiquetas de metal a altura de 1,35 m do solo e alocadas em croqui através de coordenadas cartesianas (X,Y), para auxiliar na localização, e sempre que necessário, foi coletado material vegetativo para identificação das espécies e posterior herborização, conforme as recomendações de Fidalgo e Bononi (1984).

A identificação taxonômica foi realizada inicialmente em campo, com base nos aspectos dendrológicos das espécies, e em laboratório, posteriormente, por meio de literatura especializada.

3.2 Cálculos dos índices fitossociológicos e diversidade

Para os cálculos dos índices fitossociológicos utilizaram-se os mesmos parâmetros já avaliados por diversos autores como, Ziller (1992), Guapyassú (1994), Longhi (1980), que fizeram uso das variáveis: Densidade Absoluta, Densidade Relativa, Dominância Absoluta, Dominância Relativa, Freqüência Absoluta, Freqüência Relativa, Valor de Cobertura e Índice de Valor de Importância. Para melhor entender a diversidade do estado atual da floresta na área de estudo, foi calculado o Índice de Shannon (H') e o Índice de Dominância de Simpson (C).

3.3 Dinâmica

Na dinâmica da vegetação foram avaliados o ingresso, a mortalidade e o crescimento (incremento periódico anual) para cada espécie, bem como para a vegetação.

O Ingresso corresponde às árvores que durante o período considerado atingiram o DAP ≥ 5 cm, calculado com a fórmula:

$$In\% = \frac{N_{In}}{N_i} \cdot 100$$

Onde:

In% = percentual de árvores ingressas em relação ao número inicial de árvores;

N_{In} = número de árvores ingressas na segunda ocasião;

N_i = número de árvores vivas na primeira ocasião.

Mortalidade refere-se ao número de árvores que na primeira ocasião estavam vivas, mas que na segunda ocasião encontravam-se mortas, e foi calculado pela fórmula:

$$M\% = \frac{N_m}{N_i} \cdot 100$$

Onde:

M% – percentual de árvores mortas em relação ao número inicial de árvores;

N_m – número de árvores mortas na segunda ocasião;

N_i – número de árvores vivas na primeira ocasião.

O Incremento Periódico Anual (IPA) expressa o crescimento anual de um indivíduo, e foi obtido pela fórmula:

$$IPA = \frac{\sum_{i=1}^n (DAP_{na\ segunda\ ocasião} - DAP_{na\ primeira\ ocasião})}{N}$$

Onde:

IPA = incremento periódico anual em diâmetro;

DAP_{na segunda ocasião} = diâmetro medido a 1,30 m de altura da iésima árvore viva na segunda ocasião;

DAP_{na primeira ocasião} = diâmetro medido a 1,30 m de altura da iésima árvore viva na primeira ocasião;

i = 1, 2, 3, ..., n;

N = número total de anos monitorados.

Para realização dos cálculos dos parâmetros fitossociológicos, distribuição diamétrica e processos dinâmicos (crescimento, mortalidade e ingresso), utilizou-se o software Mata Nativa 2.10 (CIENTEC, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao considerar a composição florística da Floresta Ombrófila Mista Montana no período estudado, a mesma sofreu uma alteração, e estando representada por 25 famílias, 40 gêneros e 45 espécies arbóreas em 2007, e em 2009 houve um aumento passando para 27 famílias, 41 gêneros e 47 espécies. Em 2009, foram amostradas duas novas espécies: *Apuleia leiocarpa*

(Volgel) Macbride e *Lamanonia ternata* Velloso. Nenhuma das espécies amostradas na primeira ocasião desapareceu. As espécies observadas nos levantamentos de 2007 e 2009 estão apresentadas na Tabela 1. As espécies estão identificadas pelo nome científico, nome vulgar, família e ano de ocorrência.

Tabela 1 – Composição florística da Floresta Ombrófila Mista Montana estudada em 2007 e 2009 em Boa Ventura do São Roque, – PR.

Nome Científico	Nome vulgar	Família	2007	2009
<i>Aegiphyla sellowiana</i> Cham.	Pau de gaiola	Lamiaceae	P	P
<i>Albizia polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record	Farinha seca	Fabaceae	P	P
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	Vacum	Sapindaceae	P	P
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Volgel) Macbride	Grápia	Caesalpiniaceae	-	P
<i>Banara tomentosa</i> Clos	Cambroé	Salicaceae	P	P
<i>Bauhinia forficata</i> Link	Pata de vaca	Fabaceae	P	P
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg.	Guabiroma	Myrtaceae	P	P
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Guaçatunga	Salicaceae	P	P
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro	Meliaceae	P	P
<i>Cestrum</i> sp.	Cestrum	Solanaceae	P	P
<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A. Howard	Congonha	Cardiopteridaceae	P	P
<i>Clethra scabra</i> Persoon	Carne de vaca	Clethraceae	P	P
<i>Cordyline dracaenoides</i> Kunth	Uvarana	Ruscaceae	P	P
<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum.	Coutarea	Rubiaceae	P	P
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Cuvatã	Sapindaceae	P	P
<i>Cyathea</i> sp.	Xaxim c/ espinho	Cyatheaceae	P	P
<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	Xaxim s/ espinho	Dicksoniaceae	P	P
<i>Eugenia pyriformis</i> Camb.	Uvaia	Myrtaceae	P	P
<i>Ilex brevicuspis</i> Reissek	Voadeira	Aquifoliaceae	P	P
<i>Ilex theazans</i> Mart.	Caúna	Aquifoliaceae	P	P
<i>Inga</i> sp.	Ingá	Fabaceae	P	P
<i>Lamanonia ternata</i> Velloso	Guarapere	Cunoniaceae	-	P
<i>Lonchocarpus cf cultratus</i> (Vell.) A.M.G. Azevedo and H.C. Lima	Timbó	Fabaceae	P	P
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl	Timbó branco	Fabaceae	P	P
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	Açoita cavalo	Malvaceae	P	P
<i>Machaerium paraguayense</i> Hassl.	Sapuvão	Fabaceae	P	P
<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel	Sapuva	Fabaceae	P	P
<i>Manihot grahamii</i> Hook.	Mandioca do mato	Euphorbiaceae	P	P
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Miguel pintado	Sapindaceae	P	P
<i>Myrcia hatschbachii</i> D. Legrand	Myrcia hatchbachii	Myrtaceae	P	P
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	Capororoquinha	Myrsinaceae	P	P
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Capororoça	Myrsinaceae	P	P
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	Canela amarela	Lauraceae	P	P
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela preta	Lauraceae	P	P
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees	Canela guaicá	Lauraceae	P	P
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan	Angico vermelho	Fabaceae	P	P
<i>Phytolacca dioica</i> L.	Imbú	Phytolaccaceae	P	P

Continua...

Continuação

<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schlecht.) D. Dietrich	Pessegueiro bravo	<i>Rosaceae</i>	P	P
<i>Annona rugulosa</i> Schlecht.	Ariticum de porco	<i>Annonaceae</i>	P	P
<i>Annona sylvatica</i> (St. Hil.) Mart.	Ariticum	<i>Annonaceae</i>	P	P
<i>Sapium glandulosum</i> (Vell.) Pax	Leiteiro	<i>Euphorbiaceae</i>	P	P
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L.B. Sm. & Downs	Branquilha	<i>Euphorbiaceae</i>	P	P
<i>Strychnos brasiliensis</i> (Spreng.) Mart.	Pula pula	<i>Loganiaceae</i>	P	P
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Coqueiro	<i>Areaceae</i>	P	P
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Grandiuva	<i>Cannabaceae</i>	P	P
<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	Tarumã	<i>Lamiaceae</i>	P	P
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Mamica de cadela	<i>Rutaceae</i>	P	P

P: Presente na ocasião de avaliação

- : Ausente na ocasião de avaliação

As famílias que mais se destacaram em riqueza de espécies foram: *Fabaceae* (8), *Euphorbiaceae* (3), *Lauraceae* (3), *Myrtaceae* (3), *Sapindaceae* (3), *Annonaceae* (2), *Aquifoliaceae* (2), *Lamiaceae* (2), *Myrsinaceae* (2) e *Salicaceae* (2). As demais famílias apresentaram apenas uma espécie como representado na Tabela 1. Silvestre (2009) estudou fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Castro, PR, onde destacaram-se as famílias: *Myrtaceae* (10), *Lauraceae* (9), *Asteraceae* e *Salicaceae* (4), *Myrcinaceae* e *Sapindaceae* (3). Nascimento *et al.* (2001), encontraram num remanescente florestal no Município de Nova Prata – RS, as seguintes famílias: *Myrtaceae* (18), *Lauraceae* e *Sapindaceae* (4) e *Flacortiaceae* (3).

A diversidade florística estimada pelo Índice de Shannon foi de 2,83 e 2,80, para 2007 e 2009 respectivamente, caracterizando moderada diversidade, indicando uma uniformidade do número de indivíduos em relação ao número de espécies. De acordo com DURIGAN (1999), os valores deste índice em geral situam-se entre 1,50 e 3,50 na Floresta Ombrófila Mista, sendo que a mesma autora encontrou em São João do Triunfo - PR um valor de 3,51. Watzlawick *et al.* (2005), estudando Floresta Ombrófila Mista localizada no Município de General Carneiro – PR, encontraram um Índice de Shannon estimado em 3,26, representando uma alta diversidade.

A floresta apresentou o Índice de Dominância de Simpson (C) de 0,91, esse valor é considerado alto, pois o mesmo mede a probabilidade de dois indivíduos, selecionados ao acaso na amostra, pertencerem a mesma espécie, com valores estimados de (C) variando de 0 a 1, sendo que para valores próximos de um, a diversidade é considerada maior. Durigan (1999), obteve valores de 0,951 para o Índice de Dominância de Simpson.

O moderado Índice de Shannon e o alto Índice de Simpson revelam a existência da variabilidade de espécies encontrada, ou seja, os indivíduos estão distribuídos de maneira uniforme na parcela permanente e nas espécies.

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os parâmetros fitossociológicos calculados para os anos de 2007 e 2009, respectivamente, onde as espécies encontram-se listadas em ordem decrescente de Valor de Importância (VI).

Tabela 2 – Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas na Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR, em 2007.

Espécies	N	DA N.ha ⁻¹	DR %	DoA m ² .ha ⁻¹	DoR %	FA %	FR %	VC	VI
<i>Matayba elaeagnoides</i>	235	470	18,1	4,36	13,1	88	9,8	31,2	41,03
<i>Ocotea puberula</i>	70	140	5,39	6,82	20,5	50	5,57	25,9	31,49
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	136	272	10,5	4,56	13,7	62	6,9	24,2	31,09
<i>Allophylus edulis</i>	166	332	12,8	1,77	5,33	80	8,91	18,1	27,03
Morta	62	124	4,78	3,45	10,4	58	6,46	15,2	21,62
<i>Dicksonia sellowiana</i>	76	152	5,86	3,75	11,3	34	3,79	17,1	20,92
<i>Cupania vernalis</i>	110	220	8,47	1,73	5,22	58	6,46	13,7	20,15
<i>Nectandra megapotamica</i>	89	178	6,86	1,49	4,47	62	6,9	11,3	18,23
<i>Cordyline dracaenoides</i>	50	100	3,85	0,93	2,8	38	4,23	6,65	10,88
<i>Lonchocarpus cf cultratus</i>	43	86	3,31	0,41	1,24	54	6,01	4,55	10,57
<i>Machaerium paraguariense</i>	38	76	2,93	0,59	1,78	32	3,56	4,71	8,272
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	23	46	1,77	0,25	0,74	40	4,45	2,52	6,969
<i>Albizia polycephala</i>	26	52	2	0,18	0,54	26	2,9	2,54	5,439
<i>Ilex brevicuspis</i>	29	58	2,23	0,38	1,15	18	2	3,39	5,393
<i>Inga sp.</i>	19	38	1,46	0,31	0,92	24	2,67	2,39	5,058
<i>Cedrela fissilis</i>	12	24	0,92	0,56	1,69	18	2	2,62	4,621
<i>Nectandra lanceolata</i>	13	26	1	0,34	1,01	14	1,56	2,01	3,568
<i>Cestrum sp.</i>	10	20	0,77	0,07	0,2	16	1,78	0,97	2,752
<i>Manihot grahamii</i>	10	20	0,77	0,08	0,25	14	1,56	1,02	2,575
<i>Annona rugulosa</i>	12	24	0,92	0,11	0,33	10	1,11	1,25	2,368
<i>Luehea divaricata</i>	7	14	0,54	0,08	0,24	14	1,56	0,78	2,341
<i>Vitex megapotamica</i>	11	22	0,85	0,14	0,43	8	0,89	1,28	2,171
<i>Prunus brasiliensis</i>	4	8	0,31	0,15	0,45	8	0,89	0,76	1,653
<i>Phytolacca dióica</i>	4	8	0,31	0,15	0,44	8	0,89	0,75	1,64
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	6	12	0,46	0,03	0,09	8	0,89	0,55	1,444
<i>Cyathea sp.</i>	4	8	0,31	0,08	0,25	6	0,67	0,56	1,229
<i>Bauhinia forficata</i>	3	6	0,23	0,02	0,06	4	0,45	0,29	0,732
<i>Strychnos brasiliensis</i>	3	6	0,23	0,02	0,05	4	0,45	0,28	0,723
<i>Eugenia pyriformis</i>	2	4	0,15	0,03	0,1	4	0,45	0,26	0,7
<i>Casearia decandra</i>	2	4	0,15	0,02	0,07	4	0,45	0,23	0,671
<i>Myrcia hatschbachii</i>	2	4	0,15	0,01	0,03	4	0,45	0,18	0,626
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	1	2	0,08	0,1	0,31	2	0,22	0,39	0,614
<i>Annona sylvatica</i>	4	8	0,31	0,03	0,08	2	0,22	0,39	0,613

Continua...

Continuação

<i>Sapium glandulosum</i>	2	4	0,15	0,07	0,21	2	0,22	0,37	0,591
<i>Clethra scabra</i>	2	4	0,15	0,07	0,2	2	0,22	0,35	0,575
<i>Machaerium stipitatum</i>	2	4	0,15	0,02	0,06	2	0,22	0,22	0,438
<i>Myrsine umbellata</i>	1	2	0,08	0,01	0,04	2	0,22	0,11	0,336
<i>Sebastiania commersoniana</i>	1	2	0,08	0,01	0,03	2	0,22	0,11	0,33
<i>Trema micrantha</i>	1	2	0,08	0,01	0,02	2	0,22	0,1	0,324
<i>Aegiphyla sellowiana</i>	1	2	0,08	0,01	0,02	2	0,22	0,1	0,324
<i>Citronella paniculata</i>	1	2	0,08	0,01	0,02	2	0,22	0,1	0,323
<i>Ilex theazans</i>	1	2	0,08	0,01	0,02	2	0,22	0,1	0,322
<i>Coutarea hexandra</i>	1	2	0,08	0,01	0,02	2	0,22	0,09	0,316
<i>Banara tomentosa</i>	1	2	0,08	0,01	0,01	2	0,22	0,09	0,314
<i>Myrsine coriacea</i>	1	2	0,08	0,01	0,01	2	0,22	0,09	0,314
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	1	2	0,08	0	0,01	2	0,22	0,09	0,312
*** Total	1298	2596	100	33,2	100	898	100	200/2	300/3

Onde: N – número de indivíduos, DA – Densidade Absoluta, DR – Densidade Relativa, DoA – Dominância Absoluta, DoR – Dominância Relativa, FA – Frequência Absoluta, FR – Frequência Relativa, VC – Índice Valor de Cobertura, VI – Índice Valor de Importância.

Tabela 3 – Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas na Floresta Ombrófila Mista Montana, Boa Ventura do São Roque – PR, em 2009.

Espécies	N	DA N.ha ⁻¹	DR %	DoA m ² .ha ⁻¹	DoR %	FA %	FR %	VC	VI
<i>Matayba elaeagnoides</i>	241	482	18,84	4,908	14,51	88	9,95	33,36	43,31
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	141	282	11,02	5,392	15,95	66	7,47	26,97	34,44
<i>Ocotea puberula</i>	70	140	5,47	7,304	21,6	50	5,66	27,07	32,73
<i>Allophylus edulis</i>	171	342	13,37	2,192	6,48	86	9,73	19,85	29,58
<i>Dicksonia sellowiana</i>	82	164	6,41	3,84	11,35	38	4,3	17,77	22,06
<i>Cupania vernalis</i>	111	222	8,68	2,088	6,17	60	6,79	14,85	21,64
<i>Nectandra megapotamica</i>	94	188	7,35	1,929	5,7	64	7,24	13,05	20,29
<i>Cordyline dracaenoides</i>	50	100	3,91	0,989	2,92	38	4,3	6,833	11,13
<i>Lonchocarpus cf cultratus</i>	43	86	3,36	0,469	1,39	54	6,11	4,75	10,86
<i>Machaerium paraguariense</i>	38	76	2,97	0,649	1,92	32	3,62	4,891	8,511
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	23	46	1,8	0,273	0,81	40	4,52	2,605	7,129
<i>Ilex brevicuspis</i>	29	58	2,27	0,445	1,32	18	2,04	3,584	5,621
<i>Albizia polycephala</i>	26	52	2,03	0,205	0,6	26	2,94	2,638	5,579
<i>Inga sp.</i>	19	38	1,49	0,337	1	24	2,71	2,482	5,197
<i>Cedrela fissilis</i>	12	24	0,94	0,681	2,01	18	2,04	2,951	4,987
<i>Nectandra lanceolata</i>	13	26	1,02	0,394	1,16	14	1,58	2,181	3,765
<i>Cestrum sp.</i>	11	22	0,86	0,079	0,23	18	2,04	1,095	3,131
<i>Manihot grahamii</i>	10	20	0,78	0,082	0,24	14	1,58	1,025	2,609
<i>Luehea divaricata</i>	8	16	0,63	0,109	0,32	14	1,58	0,948	2,532
<i>Phytolacca dioica</i>	6	12	0,47	0,227	0,67	12	1,36	1,14	2,497
<i>Annona rugulosa</i>	12	24	0,94	0,117	0,35	10	1,13	1,284	2,415
<i>Bauhinia forficata</i>	7	14	0,55	0,082	0,24	12	1,36	0,79	2,148

Continua...

Continuação

<i>Vitex megapotamica</i>	11	22	0,86	0,128	0,38	8	0,9	1,239	2,144
<i>Cyathea sp.</i>	6	12	0,47	0,138	0,41	8	0,9	0,876	1,781
<i>Prunus brasiliensis</i>	4	8	0,31	0,165	0,49	8	0,9	0,799	1,704
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	6	12	0,47	0,032	0,09	8	0,9	0,564	1,469
<i>Annona sylvatica</i>	5	10	0,39	0,038	0,11	4	0,45	0,502	0,955
<i>Strychnos brasiliensis</i>	3	6	0,23	0,018	0,05	4	0,45	0,287	0,739
<i>Eugenia pyriformis</i>	2	4	0,16	0,04	0,12	4	0,45	0,273	0,726
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	2	4	0,16	0,038	0,11	4	0,45	0,269	0,721
<i>Casearia decandra</i>	2	4	0,16	0,032	0,09	4	0,45	0,251	0,703
<i>Lamanonia ternata</i>	2	4	0,16	0,021	0,06	4	0,45	0,218	0,67
<i>Myrcia hatschbachii</i>	2	4	0,16	0,01	0,03	4	0,45	0,185	0,638
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	1	2	0,08	0,109	0,32	2	0,23	0,399	0,626
<i>Clethra scabra</i>	2	4	0,16	0,08	0,24	2	0,23	0,392	0,618
<i>Sapium glandulosum</i>	2	4	0,16	0,077	0,23	2	0,23	0,384	0,61
<i>Machaerium stipitatum</i>	2	4	0,16	0,026	0,08	2	0,23	0,234	0,461
<i>Sebastiania commersoniana</i>	1	2	0,08	0,012	0,04	2	0,23	0,115	0,341
<i>Myrsine umbellata</i>	1	2	0,08	0,012	0,04	2	0,23	0,114	0,34
<i>Trema micrantha</i>	1	2	0,08	0,008	0,02	2	0,23	0,102	0,329
<i>Citronella paniculata</i>	1	2	0,08	0,008	0,02	2	0,23	0,102	0,328
<i>Aegiphyla sellowiana</i>	1	2	0,08	0,008	0,02	2	0,23	0,102	0,328
<i>Ilex theazans</i>	1	2	0,08	0,008	0,02	2	0,23	0,101	0,327
<i>Coutarea hexandra</i>	1	2	0,08	0,007	0,02	2	0,23	0,099	0,325
<i>Myrsine coriacea</i>	1	2	0,08	0,005	0,02	2	0,23	0,094	0,32
<i>Banara tomentosa</i>	1	2	0,08	0,005	0,01	2	0,23	0,092	0,318
<i>Apuleia leiocarpa</i>	1	2	0,08	0,004	0,01	2	0,23	0,09	0,316
*** Total	1279	2558	100	33,82	100	884	100	200/2	300/3

Onde: N – número de indivíduos, DA – Densidade Absoluta, DR – Densidade Relativa, DoA – Dominância Absoluta, DoR – Dominância Relativa, FA – Frequência Absoluta, FR – Frequência Relativa, VC – Índice Valor de Cobertura, VI – Valor de Importância.

A espécie *Matayba elaeagnoides*, que em 2007 antes representava 18,8% do total de árvores, em 2009 representa 18,1% desse total, sendo a espécie com maior densidade e maior Valor de Importância. Observou-se também o aparecimento de espécies secundárias como é caso da *Apuleia leiocarpa*, que está presente no segundo levantamento, feito em 2009.

Os dados fitossociológicos indicam que não ocorreram mudanças relevantes no período de 2007 e 2009. Os valores de densidade de 2596 indivíduos.ha⁻¹ em 2007 e 2558 indivíduos.ha⁻¹ em 2009, são intermediários a outros estudos analisados. Silvestre (2009), estudando a florística de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana Antropizada, numa área de 5.000 m² no município de Castro-PR, encontrou 3430 indivíduos.ha⁻¹, distribuídos em 56 espécies, 42 gêneros, 25 famílias e no município de Guarapuava verificou 1114 indivíduos.ha⁻¹, distribuídos em 65 espécies, 49 gêneros e 31 famílias. Na primeira

ocasião de monitoramento em 2007 tínhamos na parcela 1298 indivíduos, sendo que 62 encontravam-se mortos em pé, estes indivíduos mortos não entraram nos cálculos de dinâmica (2007 – 2009) da floresta, apenas os indivíduos vivos serviram de marco zero para iniciar os estudos.

A análise da estrutura horizontal da floresta representada nas Tabelas 2 e 3, possibilita constatar que as principais espécies com maior VI, em 2009, são: *Matayba elaeagnoides* (43,31); *Parapiptadenia rígida* (34,44); *Ocotea puberula* (32,73) e *Allophylus edulis* (29,58). Cabe destacar a participação dos indivíduos mortos que ocuparam o quinto maior VI em 2007, e pouco representativo em 2009, como pode ser observado na Figura 4. A *Dicksonia sellowiana*, que apesar de não ser uma espécie arbórea, destaca-se com o quinto maior VI, em 2009, como pode ser observado na Figura 5 e o sexto maior VI em 2007. O que chamou a atenção em campo é a ausência da *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze no levantamento.

Nota-se que as principais espécies da Floresta Ombrófila Mista, a *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze (Pinheiro-do-Paraná), *Ocotea porosa* Nees & C. Mart. Barroso (Imbuia) e *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. (Erva-mate), nem mesmo ocorrem na área de estudo, fato este que pode estar relacionado à exploração florestal desordenada ocorrida no passado.

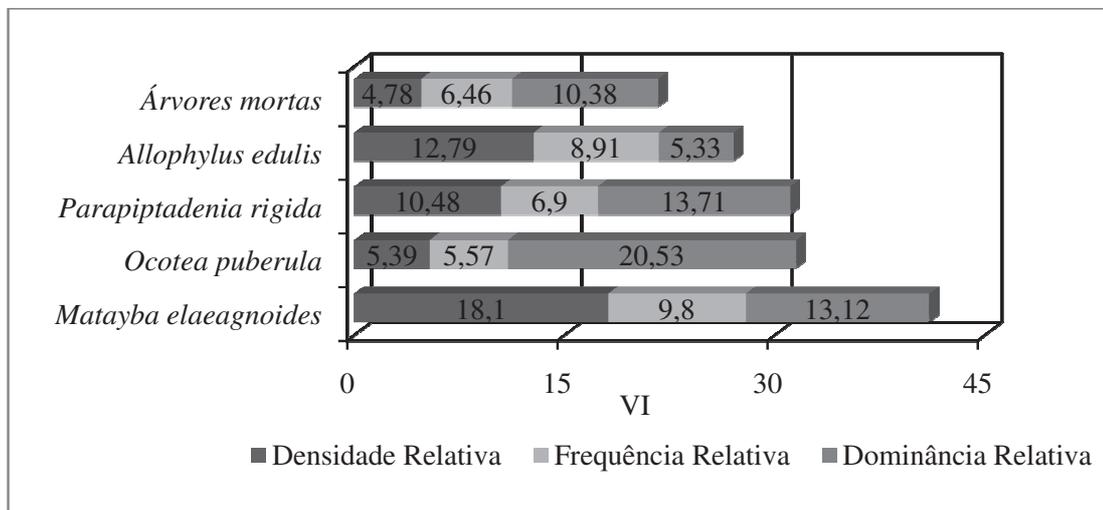


Figura 4. Distribuição das cinco espécies com o maior VI em 2007, em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.

As árvores mortas ocuparam o quinto lugar no ranking de maior VI, em 2007. Esse valor pode estar relacionado à fase de sucessão, onde espécies pioneiras que permaneciam no dossel vão sendo eliminadas ou substituídas por espécies tolerantes à sombra.

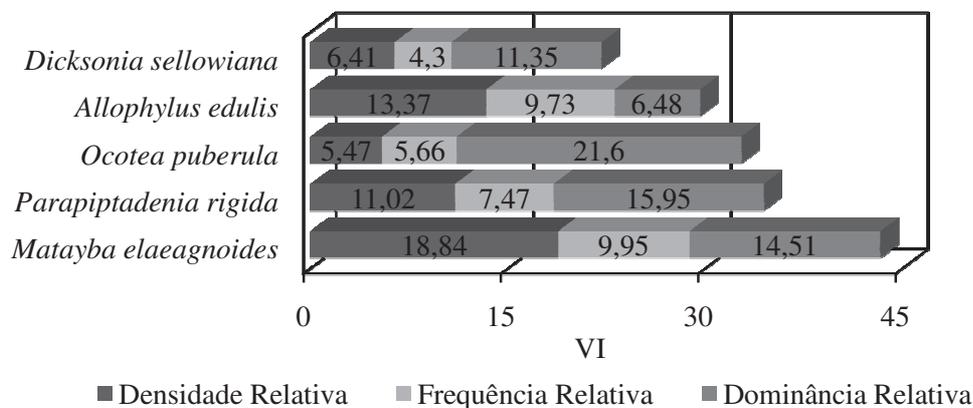


Figura 5. Distribuição das cinco espécies com o maior VI em 2009, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.

A Dominância Relativa, dos indivíduos mortos apresenta valor aproximado ao somatório da densidade relativa e Frequência Relativa como representado na Figura 6, comprovando as observações feitas em campo, de que a substituição das espécies pioneiras está ocorrendo de forma natural, já que indivíduos de grande porte estão morrendo para dar lugar a novas espécies.

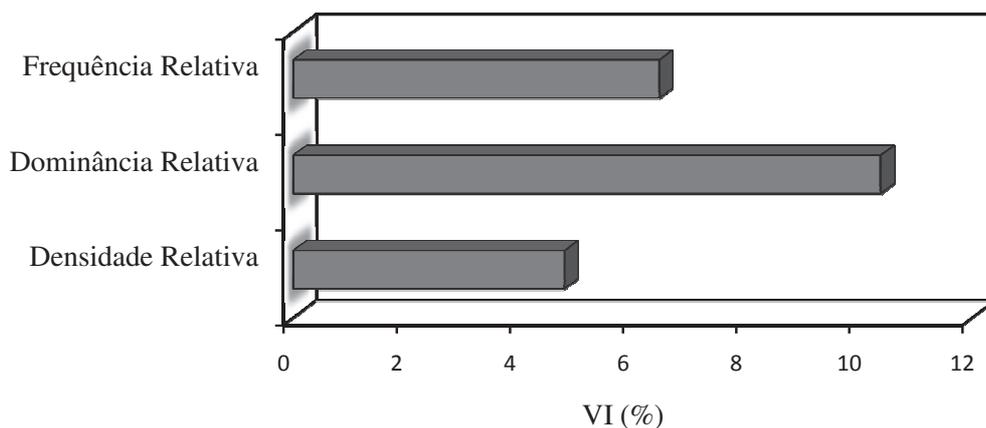


Figura 6. Distribuição do VI das árvores mortas, em 2007, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.

Houve um aumento no grau de ocupação, indicado pela área basal que passou de 33,24 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$, em 2007, para 33,82 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ em 2009, ou seja, houve um aumento de 1,02%. Isso indica que essa comunidade está em processo de desenvolvimento, ainda não se encontrando completamente estocada. A floresta encontra-se em estágio médio de regeneração, e de acordo com Watzlawick (2003), a área basal (G) pode ser usada para diferenciação dos estágios de regeneração, sendo classificada da seguinte forma: Área basal menor que 25 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ é considerado estágio inicial; caso a Área basal esteja entre 25 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ e 50 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ corresponde ao estágio médio e quando a Área basal é maior que 50 $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ é considerado como estágio avançado de regeneração.

Os indivíduos amostrados foram distribuídos em nove classes de diâmetro, as quais estão representadas na Figura 7. Pode-se observar que nos dois períodos de avaliações a distribuição diamétrica apresentou o formato de “J” invertido, comportamento característico desta tipologia florestal (multiâneas). Pode-se destacar ainda que não foram computadas nenhuma ocorrência de indivíduos com $\text{DAP} \geq 50$ cm, e isso, segundo o histórico da área de estudo, pode ser devido à intensa exploração florestal ocorrida no passado. Entretanto, observa-se um grande número de indivíduos nas menores classes diamétricas, demonstrando que a floresta está se regenerando. Outro fator importante é a média dos diâmetros da floresta, em 2007 de 10,93 cm e 11,48 cm em 2009.

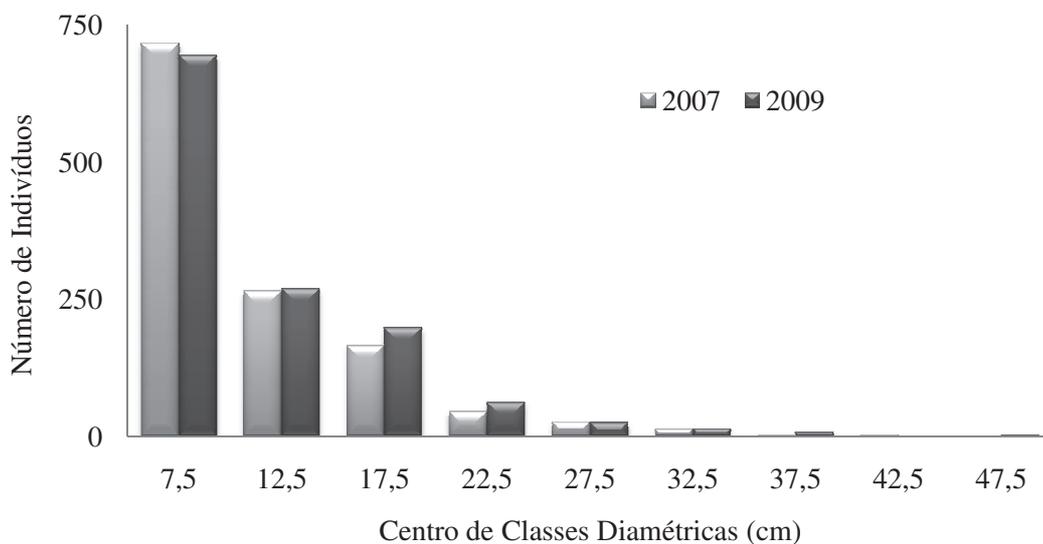


Figura 7. Distribuição diamétrica, no período de monitoramento em 2007 e 2009, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.

A Floresta apresentou uma distribuição diamétrica decrescente (em forma de J invertido), contudo, houve um aumento no número de indivíduos em todas as classes diamétricas exceto na menor classe, de modo que, os indivíduos das menores classes cresceram ocupando classes diamétricas subseqüentes.

Durante o período de monitoramento (2007-2009) foi registrado o ingresso de 43 indivíduos, como representado na Tabela 4, resultando em uma taxa de ingresso de 1,7% e mortalidade de 10 indivíduos, resultando numa taxa de mortalidade de 0,4% ao ano. Desse modo, na primeira ocasião de monitoramento tinha-se 1298 indivíduos, dos quais 62 foram subtraídos, pois encontravam-se mortos em pé, e não foram contabilizados para os cálculos da dinâmica da floresta, e somados aos 43 indivíduos ingressos em 2009 tem-se os 1279 indivíduos na segunda ocasião de monitoramento. Em relação aos indivíduos ingressos destaca-se a *Dicksonia sellowiana*, com seis indivíduos que, apesar de não ser um indivíduo arbóreo, é a quinta espécie com maior VI em 2009, e possui peculiaridades, sendo difícil a mensuração precisa dos dados para os cálculos, sugerindo-se é o aprimoramento de metodologias para determinação dos índices fitossociológicos dessa espécie. Como espécie arbórea pode-se destacar a *Matayba elaeagnoides* com seis indivíduos ingressos.

Tabela 4 – Número de indivíduos ingressos nas diferentes classes diamétricas, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.

Nome Científico	Nome Vulgar	Centro de Classes								Total	
		7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5		47,5
<i>Dicksonia sellowiana</i>	xaxim s/ espinho	6									6
<i>Matayba elaeagnoides</i>	miguel pintado	6									6
<i>Luehea divaricata</i>	açoita cavalo	1									1
<i>Nectandra megapotamica</i>	canela imbuia	4		1							5
<i>Allophylus edulis</i>	vacum	3		2							5
<i>Cupania vernalis</i>	cuvatã		1								1
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	angico vermelho	4		1							5
<i>Cyathea sp.</i>	xaxim c/ espinho	1		1							2
<i>Cestrum sp.</i>	cestrum	1									1
<i>Annona sylvatica</i>	ariticum	1									1
<i>Phytolacca dioica</i>	imbú	1		1							2
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	guabiroba		1								1
<i>Bauhinia forficata</i>	pata de vaca	3		1							4
<i>Apuleia leiocarpa</i>	grápia	1									1
<i>Lamanonia ternata</i>	guarapere	1	1								2
Total		33	3	7							43

O incremento periódico anual entre 2007 e 2009, considerando indivíduos com DAP \geq 5 cm, foi de 0,3 cm.ano⁻¹. Pode-se verificar na Tabela 5 que os maiores incrementos foram observados nas classes de 30 a 35 e 40 a 45 cm de diâmetro, correspondendo a 0,84 e 2,13 cm.ano⁻¹, respectivamente.

Tabela 5 – Incremento Periódico Anual (IPA) das espécies amostradas, em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – PR.

Nome Científico	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	IPA
<i>Casearia decandra</i>	0,670									0,670
<i>Clethra scabra</i>	0,175		1,050							0,613
<i>Phytolacca dioica</i>	0,285				2,065					0,588
<i>Cedrela fissilis</i>	0,286	0,018		1,005	1,260			2,565		0,572
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,285	0,609	0,868	0,783	0,830	0,890	0,748			0,557
<i>Nectandra megapotamica</i>	0,420	0,732	0,923							0,553
<i>Luehea divaricata</i>	0,280	1,083								0,509
<i>Machaerium stipitatum</i>	0,065	0,860								0,462
<i>Nectandra lanceolata</i>	0,051	0,563	0,763	1,035						0,448
<i>Eugenia pyriformis</i>	0,320	0,560								0,440
<i>Sebastiania commersoniana</i>	0,430									0,430
<i>Ocotea puberula</i>		0,298	0,169	0,338	0,363	0,836		1,685		0,419
<i>Cupania vernalis</i>	0,255	0,596	0,908							0,408
<i>Coutarea hexandra</i>	0,395									0,395
<i>Bauhinia forficata</i>	0,367									0,367
<i>Allophylus edulis</i>	0,309	0,518								0,339
<i>Vitex megapotamica</i>	0,200	0,493								0,298
<i>Sapium glandulosum</i>		0,160	0,400							0,280
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0,131	0,386	0,537	0,567	0,845					0,264
<i>Syagrus romanzoffiana</i>					0,255					0,255
<i>Ilex brevicuspis</i>	0,092	0,658	1,400							0,254
<i>Inga sp.</i>	0,145	0,396	0,000							0,230
<i>Lonchocarpus cf cultratus</i>	0,183	0,442	0,670							0,225
<i>Prunus brasiliensis</i>	0,033	0,010			0,800					0,219
<i>Albizia polycephala</i>	0,172	0,800								0,196
<i>Strychnos brasiliensis</i>	0,187									0,187
<i>Machaerium paraguayense</i>	0,080	0,418	0,700							0,185
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	0,132	0,318	0,700							0,181
<i>Cestrum sp.</i>	0,174									0,174
<i>Cordyline dracaenoides</i>	0,125	0,217	0,000	0,000						0,164
<i>Cyathea sp.</i>	0,080	0,445	0,000							0,151
<i>Myrsine coriacea</i>	0,145									0,145
<i>Myrcia hatschbachii</i>	0,135									0,135
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0,125									0,125
<i>Manihot grahamii</i>	0,121									0,121
<i>Annona rugulosa</i>	0,129	0,000								0,118

Continua...

Continuação									
<i>Citronella paniculata</i>	0,080								0,080
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	0,079								0,079
<i>Annona sylvatica</i>	0,076								0,076
<i>Dicksonia sellowiana</i>	0,020	0,076	0,013						0,068
<i>Ilex theazans</i>	0,050								0,050
<i>Trema micrantha</i>	0,050								0,050
<i>Aegiphyla sellowiana</i>	0,045								0,045
<i>Myrsine umbellata</i>	0,000								0,000
<i>Banara tomentosa</i>	0,000								0,000
Média	0,219	0,471	0,435	0,452	0,566	0,840	0,748	2,125	0,328

Dentre as espécies inventariadas a *Casearia decandra* foi a espécie que apresentou o maior incremento, de 0,670 cm.ano⁻¹. As espécies, *Myrsine umbellata* e *Banara tomentosa* não sofreram alteração no seu crescimento.

5. CONCLUSÕES

Com base nas informações obtidas sobre a florística e a estrutura da Floresta Ombrófila Mista Montana Antropizada, a diversidade florística observada no Índice de Shannon mostrou-se moderada, indicando uma uniformidade do número de indivíduos em relação ao número espécies.

A *Matayba elaeagnoides* foi a espécie mais densa e mais freqüente, levando a espécie a ter o maior VI encontrado, no entanto sua dominância foi a terceira maior devido haver muitas árvores nas menores classes diamétricas.

A Família *Fabaceae* apresentou a maior riqueza de espécies com oito espécies diferentes.

Pela elevada quantidade de indivíduos e pela área basal apresentada a floresta encontra-se em estágio intermediário de regeneração.

A taxa de ingresso foi superior a taxa de mortalidade.

O incremento encontra-se nas maiores classes, de 30 a 35 e 40 a 45 cm de diâmetro.

A floresta encontra-se em evolução devido ao seu crescimento e número de ingressos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. Oxford. University of Oxford, 1992. 25p.

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

236p.

CIENTEC – Consultoria e Desenvolvimento de Sistemas Ltda. **Software Mata Nativa 2:** Sistema para análise fitossociológica e elaboração de inventários e planos de manejo de florestas nativas. Viçosa, MG. 2006.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo – PR.** Curitiba, 1999. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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

FIDALGO, O.; BONONI, V. L. **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico.** São Paulo, Instituto de Botânica. (Manual n. 4). 1984.

GROMBONE, M. T., BERNACCI, L. C., NETO, J. A., **Estrutura fitossociológica da floresta semidecídua de altitude do Parque municipal de Grotta Funda.** Atibaia, São Paulo, Acta Botânica Brasílica, 1990. v. 4, n.2, p. 47 – 64.

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

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas.** Curitiba: Ed UFPR, 1998. 162p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration.** New York: The Ronald Press Co., 2 ed. 1972. 410p.

IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em 30 de Maio de 2011.

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

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos Trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado.** Eschborn: Deutsche Gessells chaft für technisch Zusammenarbeti (GTZ) GmbH, 1990. 343 p.

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

LONGHI, S. J.; SELLE, G. L.; RAGAGNIN, L. I. M.; DAMIANI, J. E. Composição florística e fitossociológica de um “capão” de *Podocarpus Lambertii* Klotz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, 1992.

LONGHI, S. J. **Agrupamento e análise fitossociológica de comunidades florestais na sub-bacia hidrográfica do Rio Passo Fundo – RS.** Curitiba. 1997. 193p. Tese de Doutorado em Ciências Florestais – Universidade Federal do Paraná.

MARTINS, F. R. **Estrutura de Uma Floresta Mesófila**. Campinas, São Paulo. Ed. UNICAMP, 1991.

MANZATTO, A. G. **Dinâmica de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Rio Claro, SP: diversidade, riqueza florística e estrutura da comunidade no período de 20 anos (1978-1998)**. Dissertação de Mestrado. Rio Claro: UNESP, 2001.

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

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Tradução Interamericana, 1985. 434p.

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

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

SAMPAIO, E.; V. S. B.; MAYO, S. J.; BARBOSA, M. R. U. **Pesquisa Botânica Nordeste: Progresso e Perspectivas**. Recife, Seção Regional de Pernambuco. 1996.

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

SOUZA, L. H. S. **Incremento Volumétrico de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez em Floresta Ombrófila Mista**. Santa Maria, 2005. 77p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – UFSM, RS.

WATZLAWICK L. F. **Estimativa de Biomassa e Carbono em Floresta Ombrófila Mista e Plantações Florestais a partir de dados de imagens de satélite Ikonos II**. Curitiba 2003. 118p. tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Paraná.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; VALÉRIO, A. F.; SILVESTRE, R. **Caracterização da composição florística e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, no município de General Carneiro – PR**. Revista Ambiência, 2005. n. 1. p. 229 – 237.

WHITMORE, T. C. **Secondary succession from seed in Tropical Rain Forests**. Forestry Abstracts, 1983. v.44, n.12, p.767-779.

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

CAPÍTULO II: EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA E CARBONO ACIMA DO SOLO EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA NO CENTRO OESTE DO PARANÁ

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi ajustar e selecionar equações para a estimativa da biomassa seca e carbono acima do solo em árvores individuais de uma Floresta Ombrófila Mista Montana Antropizada, localizada no município de Boa Ventura do São Roque, Paraná. Os dados foram coletados por meio do método destrutivo, composta por 26 árvores pertencentes a 25 espécies, 15 famílias e um indivíduo representando as árvores mortas, foram utilizados 20 modelos matemáticos para o ajuste das equações de regressão para a estimativa da biomassa seca e carbono das árvores da área em estudo. Foram ajustadas equações para a parte aérea das árvores e seus compartimentos, madeira do fuste, casca do fuste, galhos vivos, galhos mortos e folhagem. Como variáveis independentes das equações foram utilizadas a altura total (H), em metros, e o diâmetro a altura do peito (DAP) em centímetros a 1,3 m do solo. Para o ajuste das equações de regressão, utilizou-se o método dos mínimos quadrados e na seleção das melhores equações consideraram-se as estatísticas do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e análise gráfica da distribuição dos resíduos. A melhor equação para estimativa de biomassa seca foi obtida para o compartimento, casca do fuste, onde a melhor equação foi $P = -0,46510 + 0,01667.DAP^2 + 0,01384.H^2 + 2,33E-04.(DAP^2.H)$, a qual apresentou $R^2_{aj} = 0,928$ e $S_{yx} = 25,08\%$ e biomassa seca da madeira do fuste onde a melhor equação foi $P = 0,03236.DAP^{1,43770} \cdot H^{1,17393}$, a qual apresentou $R^2_{aj} = 0,840$ e $S_{yx} = 58,71\%$. Também apresentaram resultados intermediários as equações ajustadas para o compartimento galho morto onde a melhor equação foi $P = 1,58562 - 0,35261.DAP + 0,00212.(DAP^2.H)$, a qual apresentou $R^2_{aj} = 0,831$ e $S_{yx} = 72,24\%$, e a melhor equação para biomassa seca da parte aérea foi $P = 0,04821.DAP^{1,34374} \cdot H^{1,26829}$, a qual apresentou $R^2_{aj} = 0,806$ e $S_{yx} = 65,13\%$. Para os compartimentos galho vivo e folhagem os resultados foram menos expressivos e as equações apresentaram estimativas com menor precisão. As melhores equações para estimativa de carbono foram obtidas para os compartimentos, casca do fuste, onde a melhor equação foi $P = -0,23082 + 0,00777.DAP^2 + 0,00578.H^2 + 0,00010.(DAP^2.H)$, a qual apresentou $R^2_{aj} = 0,929$ e $S_{yx} = 25,76\%$, e madeira do fuste, onde a melhor equação foi $P = 0,01395.DAP^{1,43776} \cdot H^{1,18827}$, a qual apresentou $R^2_{aj} = 0,837$ e $S_{yx} = 58,66\%$. Também apresentaram resultados intermediários as equações ajustadas para o compartimento galho morto, onde a melhor equação foi $P = 0,69151 - 0,15325.DAP + 9,19E-04.(DAP^2.H)$, a qual apresentou $R^2_{aj} = 0,831$ e $S_{yx} = 72,24\%$, e a melhor equação para estimativa da parte aérea foi $P = 0,01996.DAP^{1,35703} \cdot H^{1,28396}$, a qual apresentou $R^2_{aj} = 0,808$ e $S_{yx} = 65,67\%$. Para os compartimentos galho vivo e folhagem os resultados foram menos expressivos e as equações apresentaram estimativas com menor precisão. A utilização de equações de regressão mostrou-se como uma boa alternativa de método não destrutivo de quantificação de biomassa seca e carbono.

Palavras-chave: Floresta com Araucária; Regressão linear; Equações alométricas.

CHAPTER II: PREDICTION EQUATIONS FOR ABOVEGROUND BIOMASS AND CARBON IN AN ARAUCARIA FOREST IN THE PARANÁ MIDWEST.

ABSTRACT

The aim of this study was to fit and select prediction equations for the aboveground biomass and carbon in individuals trees in an Araucaria Forest, localized in the city of Boa Ventura do São Roque, Paraná. Data were collected using the destructive methods, and the sample was formed by 26 trees of 25 species and 15 families, and one tree representing the dead trees. Twenty models were used for the adjustment. Equations were fitted for the aboveground whole tree and the following components: stem, bark, alive branches, dead branches and foliage. Total height (H), and diameter at breast height (DBH) were used as independent variables. For the adjustment of the equations, the least squares' method was applied, the goodness of the fit was based on the statistics such as the adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}), standard error of the estimate ($S_{yx}\%$) and graphics analysis of the residues distributions. The best equation for the dry biomass was found for the bark: $P = -0,46510 + 0,01667.DAP^2 + 0,01384.H^2 + 2,33E-04.(DAP^2.H)$, which presented $R^2_{aj} = 0,928$ and $S_{yx} = 25,08\%$, and for the stem: $P = 0,03236.DAP^{1,43770} \cdot H^{1,17393}$, which presented $R^2_{aj} = 0,840$ and $S_{yx} = 58,71\%$. Also presented relevant results the equations for the dead branches: $P = 1,58562 - 0,35261.DAP + 0,00212.(DAP^2.H)$, which had a $R^2_{aj} = 0,831$ and $S_{yx} = 72,24\%$. The best equation found for the aboveground whole tree was $P = 0,04821.DAP^{1,34374} \cdot H^{1,26829}$, which presented $R^2_{aj} = 0,806$ e $S_{yx} = 65,13\%$. The results obtained for the alive branches and foliage were the lowest expressive. The best equation for the carbon estimative were found for the bark: $P = -0,23082 + 0,00777.DAP^2 + 0,00578.H^2 + 0,00010.(DAP^2.H)$, which presented $R^2_{aj} = 0,929$ and $S_{yx} = 25,76\%$; and for the stem: $P = 0,01395.DAP^{1,43776} \cdot H^{1,18827}$, which presented $R^2_{aj} = 0,837$ and $S_{yx} = 58,66\%$. Medians results were found for the equations for the dead branches: $P = -74,83978 + 44,81933.DAP - 10,45300.DAP^2 + 1,18733.DAP^3 - 0,06571.DAP^4 + 1,42E-03.DAP^5$, which presented $R^2_{aj} = 0,836$ and $S_{yx} = 72,27\%$, and the best equation for the whole tree were $P = 0,01996.DAP^{1,35703} \cdot H^{1,28396}$, which presented $R^2_{aj} = 0,808$ e $S_{yx} = 65,67\%$. The components alive branches and foliage did not present good results, and the equations showed least precision estimative. The utilization of the regression equations is a good non destructive method alternative for the quantification of the dry biomass and carbon.

Key-words: Araucaria's forest; linear regression, allometric equations.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), o acúmulo de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera é da ordem de 3 bilhões de toneladas por ano (IPCC, 2006). O acúmulo de gases na atmosfera, como o CO₂, principal gás intensificador do efeito estufa, é decorrente principalmente de duas atividades humanas: a queima de combustíveis fósseis (gás natural, carvão, petróleo) e a destruição e queima das florestas. O monitoramento das emissões do dióxido de carbono torna-se, imprescindível em função das possíveis conseqüências que possam ocorrer no ambiente (WATZLAWICK *et al.*, 2006).

Diante desses fatos, as florestas naturais e plantadas têm representado cada vez mais importância, por possibilitarem o armazenamento de carbono por meio de projetos de florestamento ou reflorestamento, promovendo fixação do carbono da atmosfera e consequentemente, a mitigação de seus efeitos.

Algumas metodologias aplicadas para estimativa de biomassa e carbono descrevem o emprego de equações e fatores de redução, porém, os resultados provenientes podem apresentar muitos erros que influenciam sub ou superestimando os resultados (KOEHLER *et al.* 2005). Sanquetta (2002) complementa afirmando que o uso irrestrito de percentuais da ordem de 50% vem provocando estimativas totalmente irreais.

Devido à complexidade dos ecossistemas se faz necessário o emprego de métodos apropriados, que garantam resultados satisfatórios e sucesso na avaliação da fixação de carbono pelas florestas, uma vez que a superficialidade nos estudos de carbono vem provocando o uso indiscriminado de percentuais relativos aos teores de carbono na tentativa de quantificar a fixação de carbono pelas florestas.

A Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta de Araucária, está inserida na área de domínio da Mata Atlântica, ocupando uma área de aproximadamente 170 mil km².

O conhecimento da capacidade de absorção de carbono na biomassa florestal, em diferentes tipologias, graus de sucessão e interferência, fornecem informações importantes para o direcionamento das decisões quanto ao manejo, o que acaba por valorizar e proteger as florestas naturais.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é quantificar, ajustar e selecionar equações matemáticas capazes de estimar a biomassa e carbono acima do solo em um

fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana Antropizada, localizada no município de Boa Ventura do São Roque, Paraná.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Biomassa nas Florestas

A biomassa é a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta (MARTINELLI *et al.*, 1994). Ela pode ser expressa por massa verde ou massa seca, sendo que a massa verde refere-se ao material fresco amostrado, contendo uma variável proporção de água. Já a massa seca refere-se à biomassa obtida após secagem do material em estufa (CALDEIRA, 2003).

Para Sanquetta (2002), os estudos da biomassa florestal podem ser realizados por determinações ou estimativas e podem ter diversas finalidades, como a quantificação do carbono fixado em uma floresta. O autor distingue determinação de estimativa, sendo a determinação uma medição real feita diretamente na biomassa. Já a estimativa é feita utilizando relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões. Para Watzlawick (2003), os estudos de quantificação da biomassa florestal são trabalhosos, demorados e muito onerosos, pois envolvem procedimentos a campo, como corte, separação e pesagem. Segundo o autor a estimativa de biomassa pode ser realizada por meio de métodos diretos e indiretos, sendo que, pelo método direto, as árvores são cortadas e seus componentes separados e pesados, e pelo método indireto, são utilizadas equações alométricas ou imagens de satélite para realização das estimativas. Os métodos indiretos obviamente não podem ser utilizados sem o ajuste e a calibragem prévia das equações e, portanto, os métodos indiretos devem ser empregados conjuntamente com os métodos diretos.

No ajuste de equações deve-se ter sempre o cuidado de avaliar com objetividade as melhores equações, por meio da avaliação das estatísticas indicadoras de qualidade de ajuste (Syx, R², entre outras), além de um exame gráfico do comportamento dos resíduos (KOEHLER *et al.* 2004).

Em estudos feitos em pequenas áreas, todas as árvores podem ser derrubadas e pesadas. Em áreas maiores, não sendo possível a pesagem de todas as árvores, equações para estimativa podem ser ajustadas, correlacionando a biomassa com variáveis de fácil medição, como o diâmetro à altura do peito (DAP), a área basal, a altura total da árvore ou a altura comercial (MARTINELLI *et al.*, 1994). Watzlawick *et al.* (2003) quantificaram a biomassa

utilizando o método destrutivo, onde as árvores foram derrubadas, medidas, pesadas e seus componentes amostrados.

Britez *et al.* (2006) destacaram a existência de poucos estudos avaliando a biomassa em ecossistemas tropicais. Para Watzlawick *et al.* (2004), isso se deve, principalmente, à complexidade destes ecossistemas.

2.2. Carbono nas Florestas

A concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera é determinada pelas emissões a partir da queima de combustíveis fósseis, da mudança do uso da terra e absorção de CO₂ pelos oceanos e também pelos ecossistemas terrestres (HOUGHTON, 1994).

As florestas são importantes para o equilíbrio do balanço global de CO₂, pois armazenam carbono na biomassa das árvores, no sub-bosque, na serapilheira e no solo florestal. Diferentes tipos de florestas armazenam diferentes quantidades de carbono na biomassa, em função dos diferentes estágios de sucessão, idade, regime de manejo, composição de espécies e teor de carbono nos componentes de cada espécie (WATZLAWICK, 2003).

A capacidade de fixação de carbono pelas florestas naturais varia entre biomas. Watzlawick (2003), estudando uma Floresta Ombrófila Mista Montana, observou em média, 104 Mg.ha⁻¹ de Carbono fixado. Já Resende *et al.* (2001), em determinações da quantidade de carbono na biomassa acima do solo em uma Floresta de Terra Firme e em uma Floresta Amazônica, encontraram, respectivamente, 72,29 Mg.ha⁻¹ e 61,61 Mg.ha⁻¹. Silveira (2008) estimou o estoque de carbono em uma Floresta Ombrófila Densa, estudando biomassa arbórea acima do solo com equações de regressão ajustadas para área em estudo e por fatores de expansão, também conhecido como método da derivação do volume em biomassa e carbono. Nos dois métodos as estimativas do estoque de carbono foram similares, de 64,48 Mg.ha⁻¹ com as equações de regressão e 65,98 Mg.ha⁻¹ com o método da derivação do volume.

2.3. Modelos de Regressão

Segundo Rossi (2007), um modelo é qualquer representação simplificada de alguns aspectos de um sistema real, podendo tratar da estrutura ou de suas funções. As equações são igualdades entre sentenças matemáticas e são compostas basicamente por variáveis e coeficientes. Os coeficientes têm seus valores conhecidos, enquanto as variáveis podem

assumir qualquer valor.

Muitas relações dendrométricas são estudadas e passíveis de modelagem, tais como as relações entre altura e o diâmetro ou entre o peso, a altura e o diâmetro, e diversos problemas florestais são resolvidos utilizando-se de relações matemáticas, que possibilitam obter estimativas por meio de equações de regressão (SCHNEIDER, 1997).

Resende *et al.* (2006) utilizaram como critério para escolha dos melhores modelos de regressão, o maior coeficiente de determinação (R^2) na equação ajustada, menor erro padrão da estimativa (S_{yx}), maior estatística F e melhor distribuição gráfica dos resíduos.

Mello e Gonçalves (2008) utilizaram equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e obtiveram resultados que consideraram satisfatórios, com R^2 igual a 0,99 e S_{yx} igual a 0,6, na melhor equação, resultado também obtido por Schumacher e Caldeira (2007) estudando *Eucalyptus globulus*, o que sugere que em plantações as equações de regressão tendem a ser mais precisas do que em florestas naturais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A localização e caracterização da área de estudo encontra-se descrita no capítulo 1.

3.2. Material experimental

3.2.1 Quantificação de Biomassa

Considerando uma parcela de 5000 m² dividida em 50 sub-parcelas de 100 m² cada, foram identificadas 1298 árvores com DAP \geq 5 cm. Com base nos dados desse inventário foram selecionadas as árvores com área basal média (dg) de cada espécie, desde que houvesse mais de três indivíduos da mesma espécie na área de estudo.

Foram abatidas 26 árvores de espécies diferentes para compor o banco de dados para ajuste das equações.

Após o corte de cada árvore, realizou-se a cubagem rigorosa conforme o método de Smalian, obtendo-se o DAP e a altura de cada indivíduo abatido. Após as cubagens as árvores foram separadas nos compartimentos, madeira do fuste, casca do fuste, galhos vivos, galhos

mortos e folhagem.

O compartimento madeira do fuste foi obtido pela desrama total da árvore, deixando apenas o tronco com o ramo apical principal.

O compartimento casca do fuste foi obtido por meio da proporção de peso entre fuste e casca. Para isso foram retirados discos de madeira com uma espessura de aproximadamente dois centímetros, nas alturas 0%, 50% e 100% da altura total da árvore, cada disco tiveram a casca separada da madeira do fuste e pesada em balança eletrônica, a proporção obtida com a média dos discos foi extrapolada para o restante do fuste.

O compartimento galhos vivos foi obtido através do total de galhos vivos que foram desramados do fuste sem diferenciação por diâmetro, no entanto foram retiradas todas as folhas dos galhos.

O compartimento folhagem foi obtido por meio do total de folhas existente na árvore, e da mesma maneira, o total de galhos mortos existente na árvore compôs o compartimento galhos mortos, sem diferenciação por diâmetro. As quantificações a campo foram realizadas utilizando balanças com capacidade para 20 kg e 300 kg, como representado na Figura 1.



Figura 1. Pesagem dos compartimentos com auxílio de balança de varão

Para determinação do peso seco foram retidas amostras das árvores cortadas, sendo que, de cada árvore, foram retiradas amostras de fuste e de casca nas alturas 0%, 50% e 100%; uma amostra de galhos vivos; uma amostra de galhos mortos e uma amostra de folhagem. O peso úmido das amostras retiradas para determinar o peso seco foi obtido com balança eletrônica com capacidade de 5 kg, sendo que as amostras do fuste tiveram a casca separada para determinação do peso, passando a casca a ser mais uma amostra. Sendo assim, cada árvore teve os seguintes componentes para determinação da biomassa: casca do fuste,

madeira do fuste, galho vivo, galho morto e folhas. Todas as amostras foram secas para determinação da biomassa. No entanto, no presente estudo, para os cálculos da biomassa foram incluídas as árvores mortas que ainda estavam em pé, já que as caídas, ao se decompor farão parte da serapilheira que também foi quantificada no presente estudo.

Para o sub-bosque, foram amostrados todos os indivíduos vivos dentro de uma área de 1 x 1 m, localizada no centro das sub parcelas ímpares. A amostragem de serapilheira acumulada foi realizada utilizando-se um gabarito de 0,25 x 0,25 m, amostrando esquematicamente todas as parcelas ímpares, em dois locais, sendo um no canto superior esquerdo e outro no canto inferior direito. Os valores de biomassa seca, obtidos por meio das amostras, por unidade de área, para os compartimentos sub-bosque e serapilheira, foram extrapolados, para o peso por hectare.

3.2.2 Quantificação do Carbono

Os diferentes componentes amostrados foram acondicionados em sacos de papel, identificados e secos em estufas de circulação de ar, a uma temperatura constante de 75° C até atingir o peso constante, para posterior moagem. A determinação dos teores de carbono orgânico na biomassa florestal foram obtidos pelo método WALKLEY-BLACK, com calor externo, proposto por Tedesco *et al.* (1995), no laboratório de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

3.2.3 Alometria

No ajuste das equações de regressão para estimar a biomassa seca e carbono das árvores, utilizou-se como variável dependente a quantidade total de biomassa seca e carbono de cada árvore e de seus compartimentos: madeira do fuste, casca do fuste, galhos vivos, galhos mortos e folhas, e como variáveis independentes utilizou-se o diâmetro à altura do peito (DAP), em centímetros, e a altura total da árvore (H), em metros, e suas variações, conforme apresentado na Tabela 1.

Foram abatidas 26 árvores de espécies diferentes, mas nem todas possuíam todos os compartimentos, e por isso, foram utilizadas para ajustar os modelos matemáticos apenas as árvores que possuíam o compartimento que estava sendo estudado para cada modelo. Os modelos matemáticos utilizados para ajuste das equações de regressão estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos matemáticos utilizados para o ajuste

1	$P = a.DAP^b$
2	$P = a + b.DAP + c.DAP^2$
3	$P = a + b.DAP + c.(DAP^2.H)$
4	$P = a + b.DAP + c.DAP^2 + d.(DAP^2.H)$
5	$P = a + b.DAP^2 + c.(DAP^2.H)$
6	$P = a + b.DAP + c.H$
7	$P = a.DAP^b.H^c$
8	$P = a + b.DAP$
9	$P = a + b.DAP^2$
10	$P = a + b.DAP^3$
11	$P = a + b.DAP^2.H$
12	$\ln P = a + b.\ln DAP$
13	$\ln P = a + b.\ln DAP^2$
14	$\ln P = a + b.\ln DAP^3$
15	$\ln P = a + b.\ln (DAP^2.H)$
16	$P = a + b.DAP + c.DAP^2 + d.DAP^3$
17	$P = a + b.DAP + c.DAP^2 + d.DAP^3 + e.DAP^4$
18	$P = a + b.DAP + c.DAP^2 + d.DAP^3 + e.DAP^4 + f.DAP^5$
19	$\ln P = a + b.\ln H$
20	$P = a + b.DAP^2 + c.H^2 + d.(DAP^2.H)$

Onde: a, b, c, d, e, f = coeficientes estimados por regressão; DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso do compartimento e H = altura total.

O ajuste das equações de regressão foi feito pelo método dos mínimos quadrados, utilizando o *software Microsoft Office Excel 2007*[®].

Para a escolha das melhores equações de regressão foram adotados os seguintes critérios estatísticos: maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), menor erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) e melhor distribuição gráfica dos resíduos.

São apresentados os resultados estatísticos e os gráficos de distribuição de resíduos das quatro melhores equações ajustadas para cada compartimento, com base nos critérios estatísticos já descritos.

A correção da discrepância logarítmica, presente nas estimativas das equações de modelos logarítmicos linearizados, foi feita multiplicando-se a quantidade do compartimento estimado pela expressão conhecida como índice de Meyer (IM): $IM = e^{0,5*S^2_{yx}}$, onde e = base dos logaritmos neperianos e S^2_{yx} = quadrado do erro padrão da estimativa (ORELLANA e KOEHLER, 2008; MACHADO *et al.*, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ajustes das equações para estimativas de biomassa

4.1.1 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da parte aérea

A equação 7 apresentou estatísticas satisfatórias, pois o R^2_{aj} foi de 0,806 e o $S_{yx}\%$ de 65,13. Santana *et al.* (2008) consideram um R^2 de 0,85 alto para um modelo bastante abrangente, sugerindo que o R^2_{aj} foi bem próximo, sendo significativo para os dados estudados. Os resultados das quatro melhores equações podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da parte aérea em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatística	
	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$
7 $P = 0,04821 \cdot DAP^{1,34374} \cdot H^{1,26829}$	0,806	65,13
15 $\ln P = -3,25165 + 0,89568 \cdot \ln(DAP^2 \cdot H)$	0,725	88,94
4 $P = -45,95117 + 10,18620 \cdot DAP - 0,49145 \cdot DAP^2 + 0,01921 \cdot (DAP^2 \cdot H)$	0,690	52,18
20 $P = -7,43964 + 0,04417 \cdot DAP^2 + 0,23243 \cdot H^2 + 8,73E-04 \cdot (DAP^2 \cdot H)$	0,644	55,92

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso da biomassa seca, H = altura total.

Valério *et al.* (2007) encontraram com o modelo 4 utilizado no presente trabalho, uma equação para estimativa da biomassa seca da parte aérea com R^2_{aj} de 0,975 e S_{yx} de 9,77%, para a *Hovenia dulcis* Thumb. (Uva do Japão), sugerindo que equações ajustadas com maior homogeneidade de espécies podem ser mais precisas.

A distribuição dos resíduos mostra desuniformidade para as árvores de maior diâmetro, como se pode observar na Figura 2, característica também observada na equação 15, sendo que as demais equações tendem a subestimar os resultados. Esta tendência apresentada pela equação 7 pode ser explicada pelo fato das florestas apresentarem baixa frequência de árvores nas classes diamétricas maiores, necessitando de um número maior de indivíduos para obter um ajuste melhor. A desuniformidade também pode estar relacionada com a forma das árvores, pois todos os indivíduos são de espécies diferentes e seu formato irregular é de difícil mensuração.

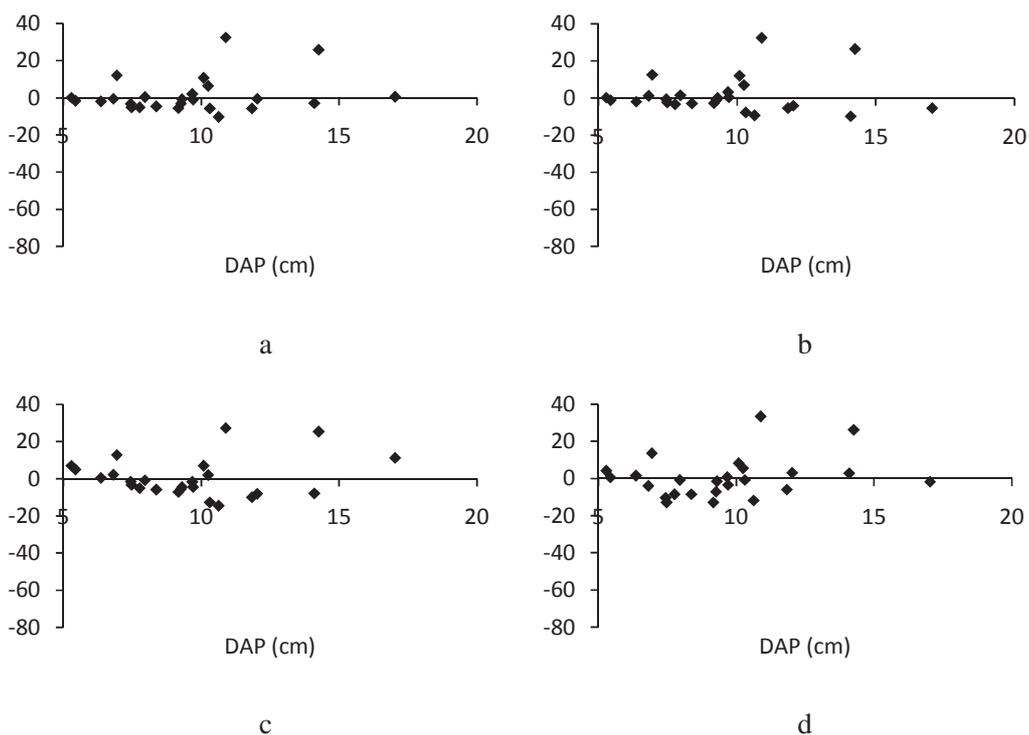


Figura 2. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca da parte aérea. Onde a = equação 7, b = equação 15, c = equação 4 e d = equação 20.

Após a análise gráfica dos resíduos e das estatísticas das equações, pode-se considerar que a melhor equação para a estimativa da biomassa seca da parte aérea foi à equação 7. Usando esta equação estimou-se a biomassa seca da parte aérea em $59,04 \text{ Mg.ha}^{-1}$, bem inferiores aos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), estudando a Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro, no mesmo estágio de regeneração, onde obteve valores da ordem de $168,84 \text{ Mg.ha}^{-1}$.

4.1.2 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da madeira do fuste

A equação 7, apresentou as melhores estatísticas e é composta pelas variáveis DAP e H, com estatísticas satisfatórias para florestas naturais, com R^2_{aj} de 0,840 e $S_{yx}\%$ de 58,71%, resultados inferiores aos observados por Valério *et al.* (2007), que encontraram R^2_{aj} de 0,968 e $S_{yx}\%$ de 11,49%, para equações similares, ajustadas para estimativa da biomassa seca da madeira do fuste de *Hovenia dulcis*. Estes autores concluíram que equações compostas pelas variáveis, altura total e DAP possuem alta correlação com a biomassa. Na Tabela 3 são

apresentadas as quatro melhores equações ajustadas para a estimativa da biomassa seca da madeira do fuste.

Tabela 3 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da madeira do fuste em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatística	
	R ² aj	Syx%
7 P = 0,03236.DAP ^{1,43770} · H ^{1,17393}	0,840	58,71
15 lnP = -3,59827 + 0,88962.ln(DAP ² .H)	0,790	76,52
4 P = -28,68605 + 6,29070.DAP - 0,30057.DAP ² + 0,01271.(DAP ² .H)	0,760	46,16
20 P = -5,49612 + 0,03355.DAP ² + 0,14980.H ² + 0,00104.(DAP ² .H)	0,734	48,59

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso da biomassa seca, H = altura total.

A equação 7 apresentou o R²aj elevado, porém a distribuição dos resíduos é desuniforme nas árvores com diâmetros maiores como pode ser observado na Figura 3.

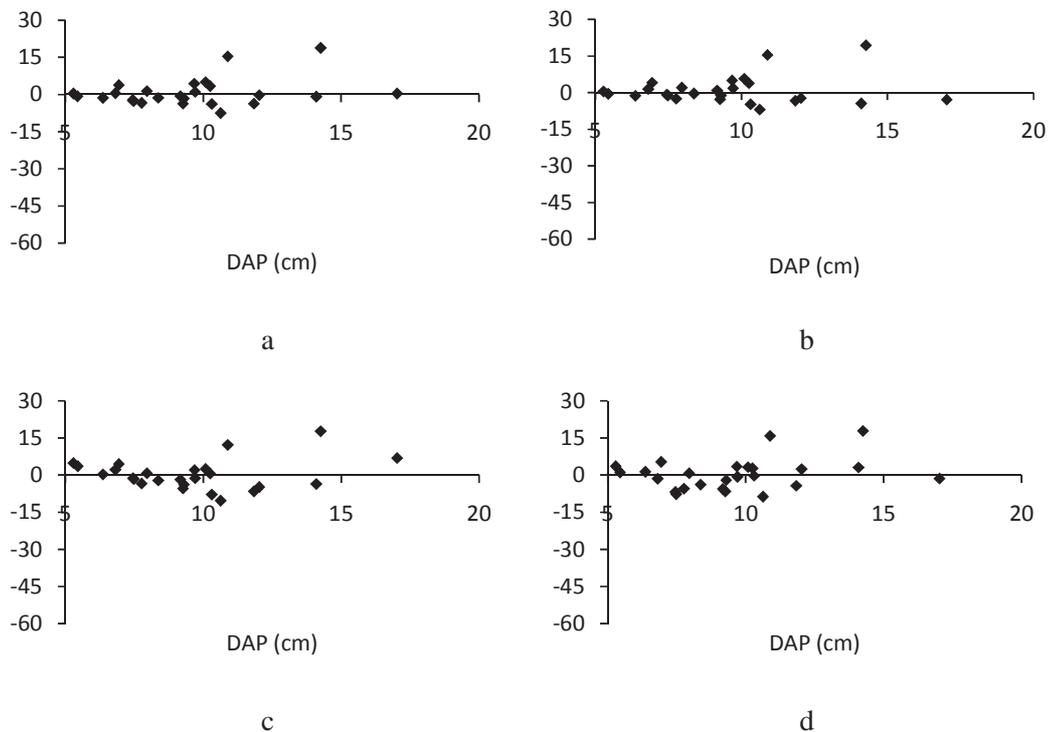


Figura 3. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca da madeira do fuste. Onde a = equação 7, b = equação 15, c = equação 4 e d = equação 20.

Socher (2004) ajustou equações para estimativa da biomassa em uma área de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, e seus resultados foram melhores que os do presente trabalho, com R^2_{aj} de 0,939 e $S_{yx}\%$ de 20,21. O autor considerou que os resultados foram satisfatórios, principalmente pelo fato das equações serem ajustadas com uma base de dados muito ampla, contemplando diversas espécies. Os resultados encontrados para as equações sugerem bons ajustes, principalmente, considerando a heterogeneidade das espécies, que estão em diversos estágios de desenvolvimento.

A distribuição gráfica dos resíduos mostrou que a equação 7 apresenta uma amplitude dos resíduos aceitável podendo ser utilizada para estimar a biomassa seca da madeira do fuste. Usando esta equação estimou-se a biomassa seca da madeira do fuste da área em estudo em 41,04 Mg.ha⁻¹, valores expressivamente inferiores aos encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), obteve valores na ordem de 73,81 Mg.ha⁻¹, para o mesmo estágio de regeneração.

4.1.3 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da casca do fuste

As equações ajustadas para estimativa da biomassa seca da casca do fuste apresentaram bons coeficientes de determinação ajustados (0,928), como demonstrado na Tabela 4. Socher (2004) encontrou coeficiente de determinação ajustado inferior (R^2_{aj} de 0,457). De uma maneira geral, as equações ajustadas para estimativa da biomassa seca da casca do fuste apresentaram valores semelhantes aos encontrados por Miranda (2008), que foram de 0,98, e aos encontrados por Páscoa *et al.* (2008), que foram de 0,921.

Tabela 4 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da casca do fuste em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatística	
	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$
20 $P = -0,46510 + 0,01667.DAP^2 + 0,01384.H^2 + 2,33E-04.(DAP^2.H)$	0,928	25,08
4 $P = 1,23941 + 0,42048.DAP - 0,02548.DAP^2 + 0,00245.(DAP^2.H)$	0,923	25,82
3 $P = -0,99008 + 0,30271 + 0,00096.(DAP^2.H)$	0,918	26,68
11 $P = 1,06070 + 0,00165.(DAP^2.H)$	0,911	27,84

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso da biomassa seca, H = altura total.

Na análise gráfica dos resíduos não foram observadas alterações bruscas nas diferentes equações, como pode ser observado na Figura 4, no entanto, os resíduos mostram uma dispersão bem próxima do eixo.

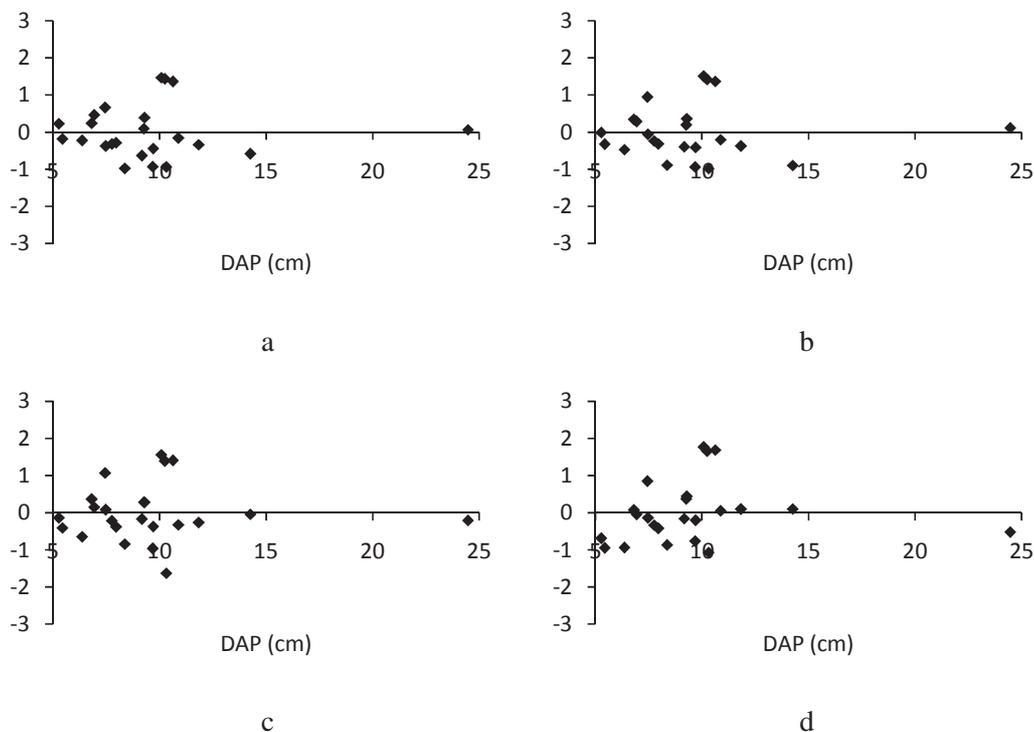


Figura 4. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca da casca do fuste. Onde a = equação 20, b = equação 4, c = equação 3 e d = equação 11.

Após análise gráfica dos resíduos e das estatísticas das equações, pode-se considerar que a melhor equação para a estimativa da biomassa seca da casca foi a equação 20. Usando esta equação estimou-se a biomassa seca da casca do fuste em $9,68 \text{ Mg.ha}^{-1}$, bem abaixo dos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores na ordem de $20,58 \text{ Mg.ha}^{-1}$, para o mesmo estágio de regeneração.

4.1.4 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da folhagem

As equações ajustadas se mostraram pouco eficientes para estimar a biomassa seca da folhagem, como pode ser observado na Tabela 5, sendo que todas apresentaram um baixo R^2_{aj} , variando de 0,393 a 0,391 e alto S_{yx} variando de 138,06% a 164,53%, resultados considerados

insatisfatórios. Socher (2004), em equações para a uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, encontrou R^2_{aj} de 0,705 e S_{yx} de 62,79%, resultados melhores que os encontrados no presente trabalho mas ainda insatisfatórios.

Tabela 5 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da folhagem em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatística	
	R^2_{aj}	Syx%
7 $P = 1,75E-04.DAP^{3,10334} \cdot H^{0,47270}$	0,393	138,06
13 $\ln P = -7,35721 + 1,48549.\ln DAP^2$	0,381	164,53
14 $\ln P = -7,35721 + 0,99033.\ln DAP^3$	0,381	164,53
1 $P = 6,38E-04 \cdot DAP^{2,97099}$	0,381	157,62

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso da biomassa seca, H = altura total.

Páscoa *et al.* (2008) obtiveram resultados expressivos no ajuste de equações para estimativa da biomassa seca da folhagem do pinheiro bravo, com R^2_{aj} de 0,865, melhores que o do presente trabalho, no entanto, apenas para uma única espécie.

Os baixos coeficientes de determinação ajustados e os altos erros padrão das estimativas das equações ajustadas para a estimativa da biomassa seca da folhagem podem ser explicados pela grande abrangência dos dados, composta por diversas espécies com características muito diversas, fato observado também por Miranda (2008), que considerou não satisfatórias as equações ajustadas para estimativa da biomassa seca da folhagem em uma área de restauração, quando verificou coeficiente de determinação de 0,687 e erro padrão de 81,71%.

Neste sentido, a melhor equação ajustada para a estimativa da biomassa seca da folhagem das árvores foi a equação 7, apesar de apresentar estatísticas imprecisas. A dificuldade em estimar a biomassa da folhagem pode estar associada às condições climáticas no período de coleta, pois em períodos frios algumas espécies perdem parte de suas folhas, enquanto outras mantêm todas as folhas, dessa forma torna-se difícil correlacionar todas as espécies, pois a variação na quantidade de folhas entre as espécies aumenta o erro, outro fato que pode ser atribuídos diz respeito à forma da copa, árvores de espécies diferentes e também árvores da mesma espécie apresentam diferenças quanto a forma da copa e conseqüentemente afetam a distribuição e número de folhas em cada árvore.

A distribuição dos resíduos indicou um ajuste adequado dos resíduos, como pode ser observado na Figura 5.

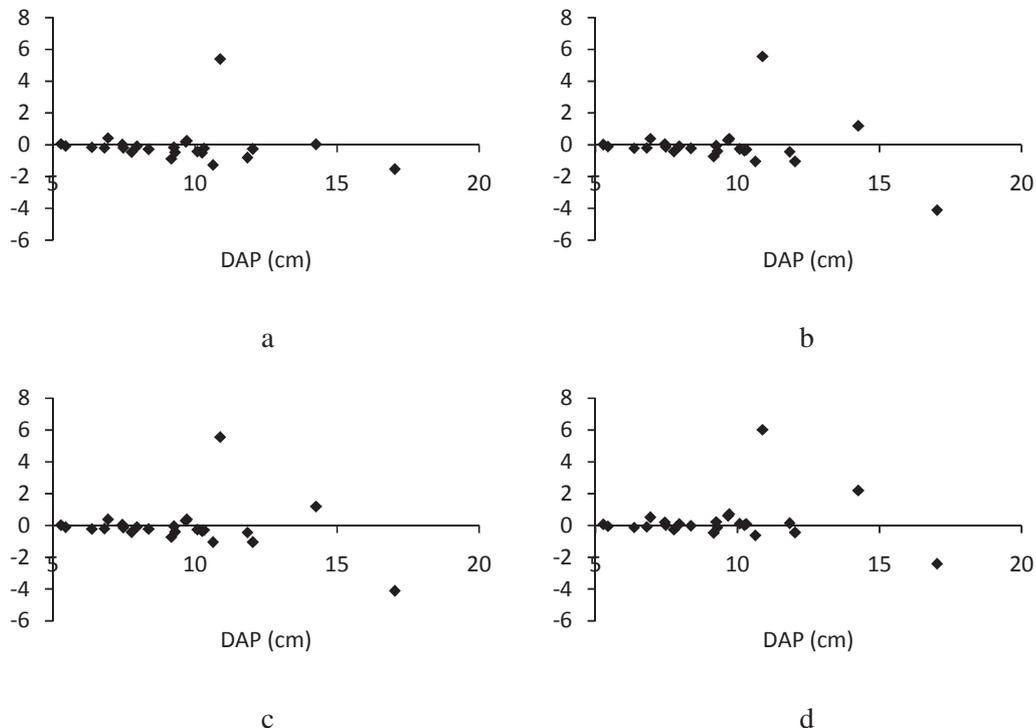


Figura 5. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca da folhagem. Onde a = equação 7, b = equação 13, c = equação 14 e d = equação 1.

Usando a equação estimou-se a biomassa seca da folhagem em $5,77 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, Watzlawick, *et al.* (2002), obteve $5,61 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para a biomassa seca da folhagem.

4.1.5 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca dos galhos vivos

Os resultados mostram uma correlação insatisfatória entre as variáveis independentes e a biomassa seca dos galhos vivos, sendo que a equação 18 apresentou R^2_{aj} de 0,640, valor considerado baixo, se comparado com valores encontrados por outros autores, e S_{yx} de 70,70%, valor considerado elevado, se comparado com Urbano (2007), que ajustou equações para estimar a biomassa seca dos galhos de bracatinga e obteve resultados mais satisfatórios, com R^2_{aj} de 0,907 e S_{yx} de 43,16%, para galhos maiores que 4 cm de diâmetro, e R^2_{aj} de 0,849 e S_{yx} de 36,01%, para galhos com diâmetro menor que 4 cm. Cabe ressaltar que os resultados

obtidos pelo autor são para uma única espécie, o que diferencia dos ajustes do presente trabalho, onde foi utilizada uma base de dados com 26 espécies e sem levar em consideração o diâmetro dos galhos.

Tabela 6 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca dos galhos vivos em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatística	
	R ² aj	Syx%
18 $P = 146,48611 - 79,70256.DAP + 16,42125.DAP^2 - 1,59194.DAP^3 + 0,007258.DAP^4 - 0,00122.DAP^5$	0,640	70,70
17 $P = -38,86243 + 16,54091.DAP - 2,48451.DAP^2 + 0,15833.DAP^3 - 0,00334.DAP^4$	0,631	71,60
4 $P = -8,50281 + 2,24576.DAP - 0,20771.DAP^2 + 0,00962.(DAP^2.H)$	0,613	73,25
16 $P = 19,25320 - 6,44537.DAP + 0,664362.DAP^2 - 0,01759.DAP^3$	0,585	75,84

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso da biomassa seca, H = altura total.

A análise gráfica da distribuição dos resíduos é semelhante nas quatro equações e não apresentam tendências na distribuição, entretanto comportam-se de maneira desuniforme nos menores diâmetros como pode ser observado na Figura 6.

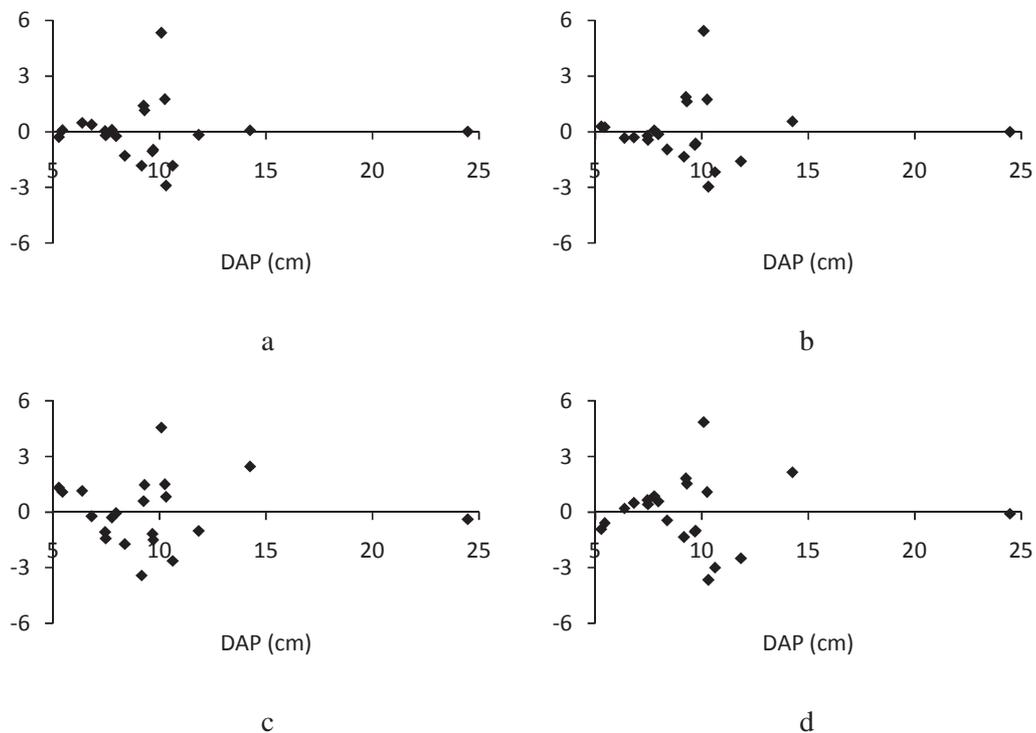


Figura 6. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca dos galhos vivos. Onde a = equação 18, b = equação 17, c = equação 4 e d = equação 16.

Socher (2004) ajustou equações para estimativa da biomassa seca dos galhos de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, com coeficiente de determinação ajustado igual a 0,94 e erro padrão da estimativa de 43,84%, mas não considerou os resultados satisfatórios, entretanto foram melhores do que os encontrados no presente trabalho.

No entanto, entre as quatro equações selecionadas a melhor foi a equação 18, mas a utilização desta equação deve ser feita com ressalvas, devido ao baixo nível de precisão das estimativas. Usando esta equação estimou-se a biomassa seca dos galhos vivos em 27,06 Mg.ha⁻¹, inferior aos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores da ordem de 63,51 Mg.ha⁻¹, para o mesmo estágio de regeneração.

4.1.6 Ajuste de equações para estimativa da biomassa seca dos galhos mortos

Os resultados mostram que as equações ajustadas apresentaram alta correlação com a biomassa seca dos galhos mortos, com coeficientes de variação aceitáveis e altos coeficientes de determinação ajustados, quando comparados aos resultados obtidos para alguns compartimentos da biomassa, o que pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do ajuste de equações para estimativa da biomassa seca dos galhos mortos em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatística	
	R ² aj	Syx%
18 $P = -180,40439 + 107,93929.DAP - 25,14887.DAP^2 + 2,85357.DAP^3 - 0,15774.DAP^4 + 0,00340.DAP^5$	0,922	49,08
17 $P = 39,77557 - 19,09911.DAP + 3,31184.DAP^2 - 0,24665.DAP^3 + 0,00671.DAP^4$	0,897	56,53
16 $P = -7,08414 - 2,64097.DAP - 0,32093.DAP^2 + 0,01307.DAP^3$	0,846	68,93
3 $P = 1,58562 - 0,35261.DAP + 0,00212.(DAP^2.H)$	0,831	72,24

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso da biomassa seca, H = altura total.

A análise gráfica das distribuições dos resíduos demonstra uma menor amplitude na equação 18, como demonstrado na Figura 13a. Porém, esta equação fornece um erro padrão da estimativa elevado e não foi ajustada para estimar com precisão árvores de DAPs maiores que 15 cm, sendo que quando utilizada para estimar a biomassa dos galhos mortos, forneceu resultados irrealistas, a equação que forneceu os resultados com maior exatidão foi a equação 3.

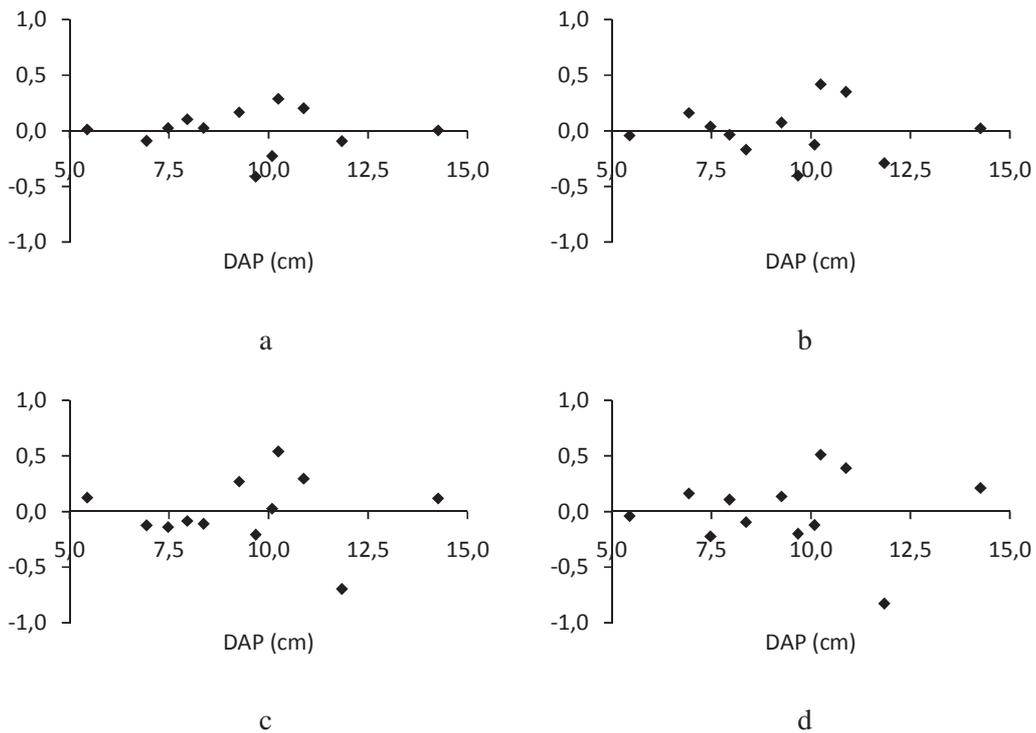


Figura 7. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para biomassa seca dos galhos mortos. Onde a = equação 18, b = equação 17, c = equação 16 e d = equação 3.

A análise da distribuição gráfica dos resíduos foi feita com apenas 12 árvores, pois as demais não apresentavam galhos mortos. O pequeno número de amostras revelou discrepâncias na estimativa da biomassa para indivíduos de DAP > 15 cm, e a equação que melhor estimou a biomassa desse compartimento foi a equação 3. Usando esta equação estimou-se a biomassa dos galhos mortos em $2,77 \text{ Mg.ha}^{-1}$, inferiores aos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores da ordem de $4,06 \text{ Mg.ha}^{-1}$, para o mesmo estágio de regeneração.

4.1.7 Biomassa seca da serapilheira

No presente estudo verificou-se um acúmulo de biomassa seca na serapilheira, de $18,69 \text{ Mg.ha}^{-1}$, valor considerado alto, se comparado com o observado por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores da ordem de $8,59 \text{ Mg.ha}^{-1}$, para o mesmo estágio de regeneração. O alto valor encontrado provavelmente se deve a queda das folhas no período de frio acumulando essa biomassa na serapilheira.

4.1.8 Biomassa seca do sub-bosque

A quantificação de biomassa seca do sub-bosque totalizou 4,92 Mg.ha⁻¹. Watzlawick, *et al.* (2002), obteve valores superiores na ordem de 21,17 Mg.ha⁻¹, para o mesmo estágio de regeneração.

4.2 Ajustes das equações para estimativas de carbono

4.2.1 Ajuste de equações para estimativa de carbono da parte aérea total

Dentre as quatro equações selecionadas para estimar o carbono da parte aérea a equação 7 apresentou as melhores estatísticas, com R²_{aj} de 0,808 e o S_{yx}% de 65,67, como mostrado na a Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados do ajuste de equações para estimativa de carbono da parte aérea total em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatísticas	
	R ² _{aj}	S _{yx} %
7 P = 0,01996.DAP ^{1,35703} · H ^{1,28396}	0,808	65,67
15 lnP = -4,13659 + 0,90571.ln(DAP ² .H)	0,726	90,61
4 P = -20,36319 + 4,50541.DAP - 0,21708.DAP ² + 0,00852.(DAP ² .H)	0,692	52,13
20 P = -3,31061 + 0,02972.DAP ² + 0,10261.H ² + 4,23E-04.(DAP ² .H)	0,646	55,91

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso do carbono, H = altura total.

As distribuições gráficas dos resíduos das equações ajustadas, mostradas na Figura 8 apresentam comportamento bastante similar nas quatro equações, no entanto ambas apresentaram leve desuniformidade nos em árvores com maior DAP. Esta tendência pode ser explicada pelo fato de que as classes diamétricas maiores apresentavam poucos indivíduos para o ajuste das equações de regressão.

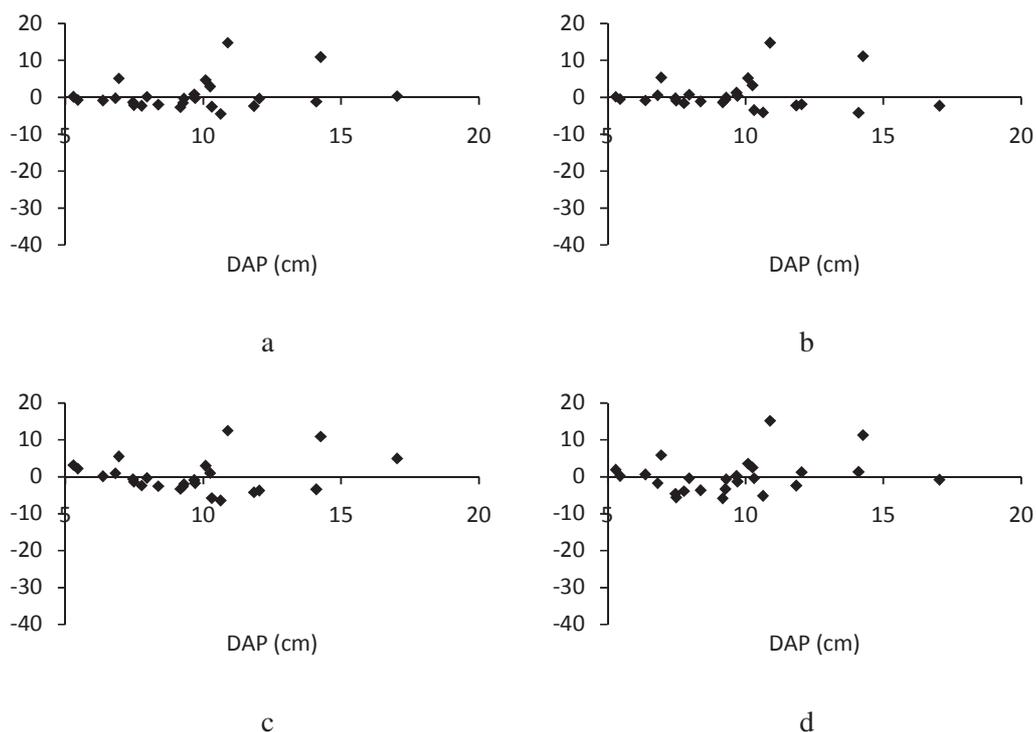


Figura 8. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono da parte aérea. Onde a = equação 7, b = equação 15, c = equação 4 e d = equação 20.

Na análise gráfica observou-se o melhor resultado para a equação 7, para a estimativa do carbono da parte aérea. Usando esta equação estimou-se o carbono da parte aérea em 26,36 Mg.ha⁻¹, semelhantes aos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores da ordem de 25,82 Mg.ha⁻¹, para o mesmo estágio de regeneração.

4.2.2 Ajuste de equações para estimativa do carbono da madeira do fuste

Para madeira do fuste a equação 7 apresentou as melhores estatísticas, com R^2_{aj} de 0,837 e $S_{yx}\%$ de 58,66%, como pode se observado na Tabela 9. Brun (2007) ajustou equações para a estimativa do carbono em sete espécies presentes em uma Floresta Estacional Decidual em fase sucessional secundária. A autora ajustou equações para cada espécie, e para a madeira, obteve equações com coeficientes de determinação variando de 0,823 a 0,999. O resultado encontrado para a equação 7 sugere bons ajustes, principalmente considerando a heterogeneidade das espécies, que estão em diversos estágios de desenvolvimento.

Tabela 9 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono da madeira do fuste em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatísticas	
	R ² aj	Syx%
7 $P = 0,01395 \cdot \text{DAP}^{1,43776} \cdot H^{1,18827}$	0,837	58,66
15 $\ln P = -4,44489 + 0,89502 \cdot \ln(\text{DAP}^2 \cdot H)$	0,784	77,47
4 $P = -12,69533 + 2,78734 \cdot \text{DAP} - 0,13319 \cdot \text{DAP}^2 + 0,00566 \cdot (\text{DAP}^2 \cdot H)$	0,761	45,99
20 $P = -2,43123 + 0,01492 \cdot \text{DAP}^2 + 0,06649 \cdot H^2 + 4,77\text{E-}04 \cdot (\text{DAP}^2 \cdot H)$	0,736	48,34

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso do carbono, H = altura total.

A equação 7 apresentou melhor distribuição gráfica dos resíduos, embora com expressiva desuniformidade dos resíduos nas árvores com maior DAP. No entanto, todas as equações apresentaram tendência de aumentar a amplitude dos resíduos nas estimativas para árvores com maiores DAPs, e este fato pode ser atribuído ao baixo número de árvores amostradas nos maiores diâmetros, como pode ser observado na Figura 9.

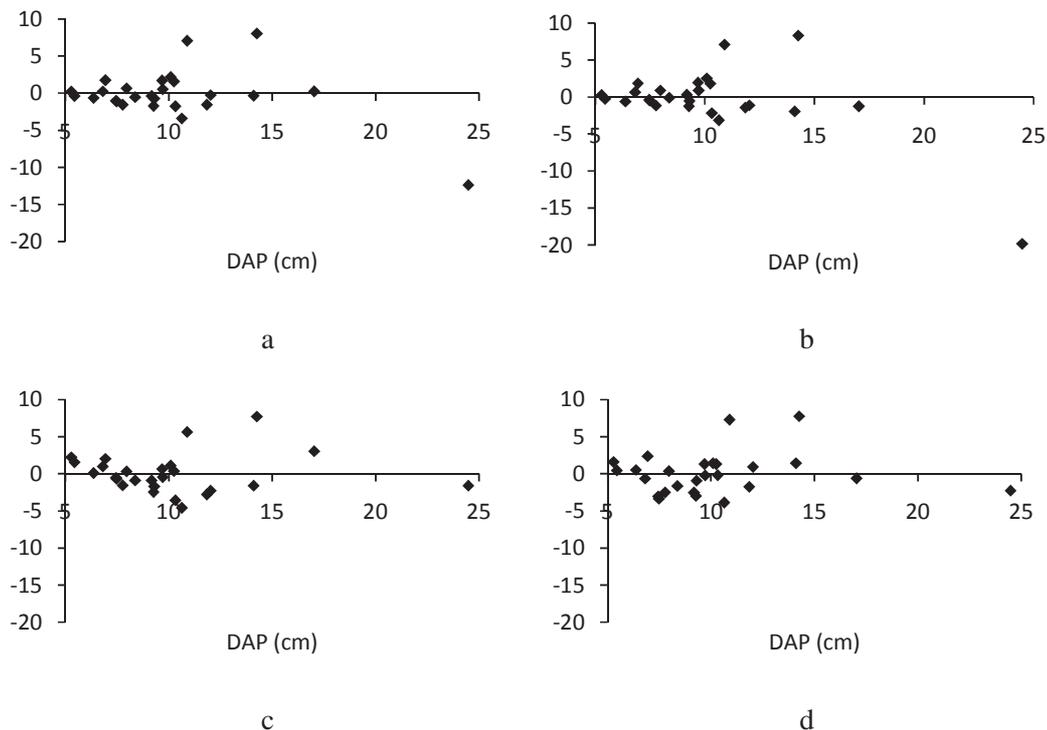


Figura 9. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono da madeira do fuste. Onde a = equação 7, b = equação 15, c = equação 4 e d = equação 20.

Usando a equação 7, estimou-se o carbono da madeira do fuste em 18,32 Mg.ha⁻¹, valor este inferior aos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores da ordem de 31,49 Mg.ha⁻¹, para o mesmo estágio de regeneração.

4.2.3 Ajuste de equações para estimativa do carbono da casca do fuste

De uma maneira geral, as equações ajustadas para a estimativa do carbono da casca do fuste apresentaram bom coeficiente de determinação ajustado. No presente estudo foram observados valores semelhantes aos de Brun (2007), onde foram obtidos coeficientes de determinação, variando de 0,89 a 0,99, dependendo da espécie. Hoppe (2003), no ajuste de equações para a estimativa do Carbono em plátanos, encontrou uma equação com R²_{aj} de 0,63 e S_{yx} de 17,3%, sendo considerados significativos, sugerindo que os resultados apresentados na Tabela 10 podem ser considerados satisfatórios.

Tabela 10 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono da casca do fuste em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatísticas	
	R ² _{aj}	S _{yx} %
20 P = -0,23082 + 0,00777.DAP ² + 0,00578.H ² + 0,00010.(DAP ² .H)	0,929	25,76
4 P = -0,53848 + 0,17313.DAP - 0,00976.DAP ² + 0,00102.(DAP ² .H)	0,925	26,53
3 P = -0,44297 + 0,12747 + 4,55E-04.(DAP ² .H)	0,922	27,01
11 P = 0,42471 + 0,00074.(DAP ² .H)	0,916	28,06

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso do carbono, H = altura total.

Nas distribuições gráficas dos resíduos das equações ajustadas, apresentadas na Figura 10, são mostradas que as quatro melhores equações, indicando comportamento bastante similar, no entanto, todas apresentaram leve tendência de superestimar o carbono neste componente. Esta tendência pode ser explicada pelo fato de que existe grande variabilidade de espécies, e que todas possuem particularidades como, por exemplo, espessura de casca, o que confere pesos diferentes para árvores de mesmo diâmetro, principalmente nas árvores mais jovens, com menores diâmetros, onde a proporção de casca é maior.

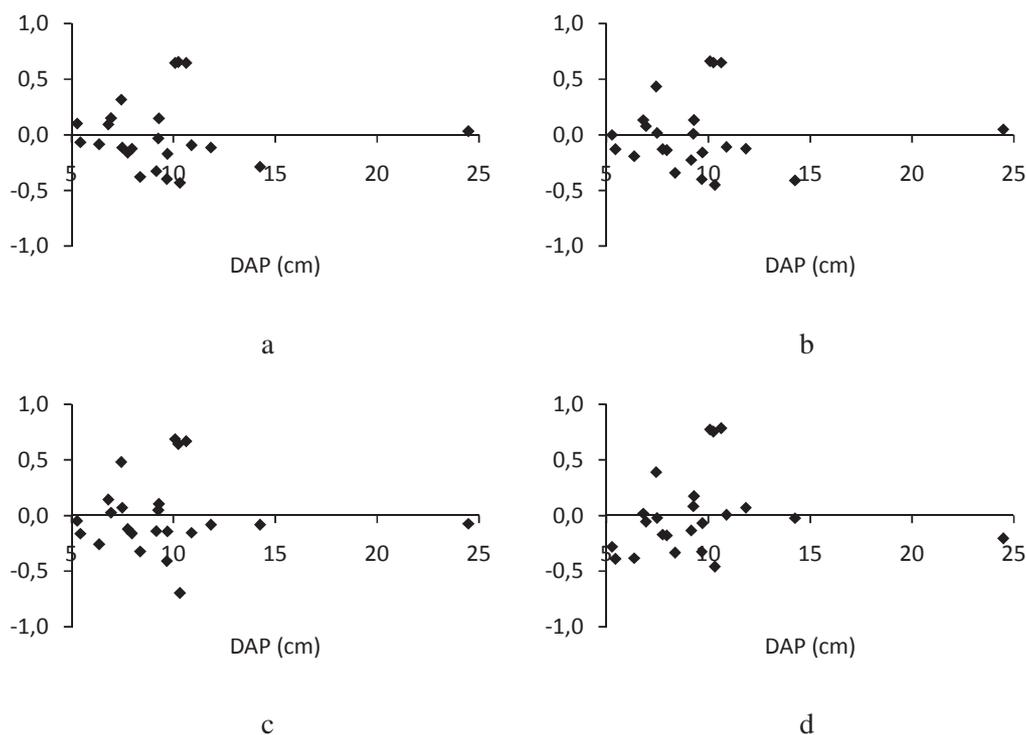


Figura 10. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono da casca do fuste. Onde a = equação 20, b = equação 4, c = equação 3 e d = equação 11.

Após análise gráfica dos resíduos e das estatísticas das equações, pode-se considerar que a melhor equação para a estimativa do carbono da casca foi a equação 20. Usando esta equação estimou-se o carbono da casca do fuste em $4,29 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, inferior aos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores da ordem de $8,32 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para o mesmo estágio de regeneração.

4.2.4 Ajuste de equações para estimativa do carbono da folhagem

As equações ajustadas se mostraram pouco satisfatórias para estimar o carbono da folhagem, como pode ser observado na Tabela 11. A equação 7, que se destacou entre as demais, não apresentou bons resultados, com baixo coeficiente de determinação ajustado e alto erro padrão da estimativa.

Urbano (2007) ajustou equações para estimativa do carbono estocado na folhagem de bracatinga e a melhor equação apresentou R^2_{aj} de 0,795 e $S_{yx}\%$ de 42,57%. O autor considerou as equações de baixa precisão, ainda assim encontrou resultados melhores que os

apresentados no presente trabalho, e atribuiu os resultados à baixa correlação entre variáveis utilizadas nas equações.

Tabela 11 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono da folhagem em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatísticas	
	R ² aj	Syx%
7 $P = 6,23E-05 \cdot DAP^{3,15596} \cdot H^{0,521976}$	0,401	139,12
1 $P = 2,58E-04 \cdot DAP^{3,01043}$	0,382	159,65
14 $\ln P = -8,26308 + 1,00348 \cdot \ln DAP^3$	0,382	167,60
12 $\ln P = -8,26308 + 3,01043 \cdot \ln DAP$	0,382	167,60

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso do carbono, H = altura total.

Na análise gráfica das distribuições dos resíduos observou-se que a equação 7 teve menor amplitude na dispersão dos resíduos, porém, apresenta tendência de superestimar o carbono fixado na folhagem, e os resíduos tenderam a aumentar seu valor absoluto nas árvores com diâmetros menores que 20 cm. À medida que aumentou o DAP, essa observação se inverteu, passando a subestimar o carbono.

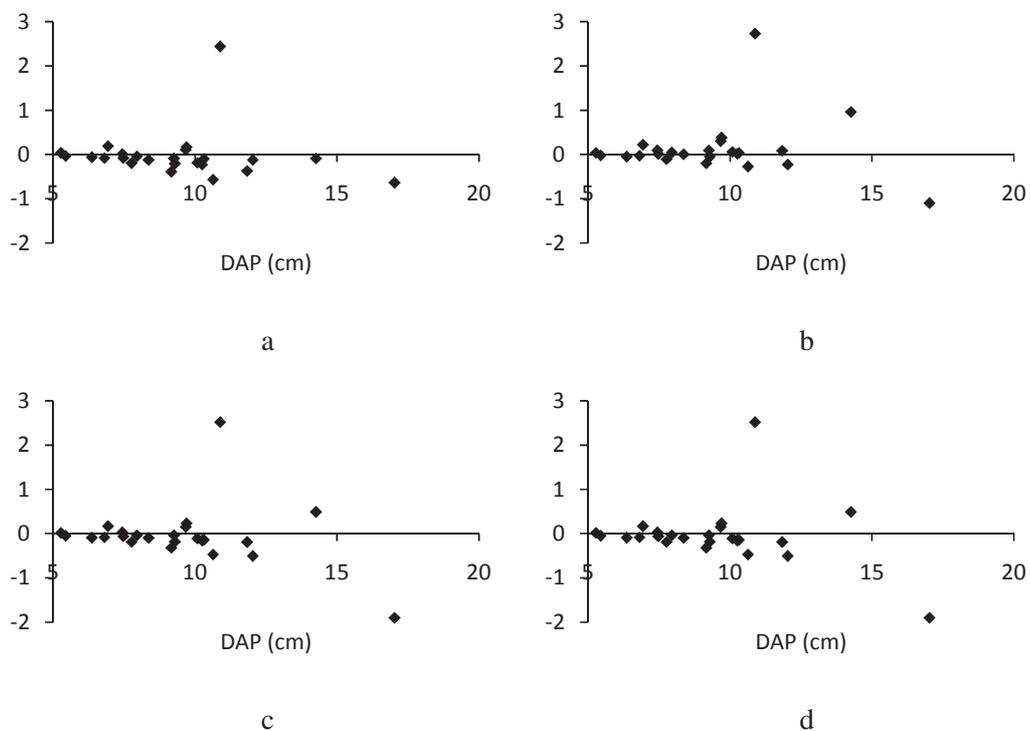


Figura 11. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono da folhagem. Onde a = equação 7, b = equação 1, c = equação 14 e d = equação 12.

A melhor equação ajustada para a estimativa do carbono estocado na folhagem foi a equação 7, porém, a utilização desta equação deve ser feita com ressalvas, devido ao baixo nível de precisão das estimativas. Esses resultados menos expressivos encontrados nas equações no presente trabalho, bem como os resultados dos trabalhos de outros autores, mostram que as variáveis independentes DAP e H têm dificuldade em explicar o carbono estocado na folhagem.

Usando esta equação estimou-se o carbono da folhagem em 2,72 Mg.ha⁻¹, semelhantes aos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores na ordem de 2,39 Mg.ha⁻¹, para o mesmo estágio de regeneração.

4.2.5 Ajuste de equações para estimativa do carbono dos galhos vivos

As quatro melhores equações selecionadas para a estimativa do carbono dos galhos apresentaram estatísticas com baixo coeficiente de determinação ajustado e alto erro padrão da estimativa, como está representado na Tabela 12. Soares e Oliveira (2002) encontraram uma equação com coeficiente de determinação R²_{aj} de 88,27%, mas com CV de 39,37%, para a estimativa do Carbono dos galhos de eucalipto, resultados expressivamente melhores que os encontrados no presente trabalho, ressaltando que os autores citados estudaram uma única espécie. Brun (2007) ajustou equações com R²_{aj} variando de 0,7587 a 0,9982 para o carbono dos galhos vivos de sete espécies em uma Floresta Estacional Decidual. Os resultados encontrados por estes e outros autores sugerem que as equações ajustadas para a estimativa do Carbono estocado nos galhos são mais precisas em trabalhos com uma única espécie.

Tabela 12 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono dos galhos vivos em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatísticas	
	R ² _{aj}	Syx%
19 lnP = -6,03967 + 2,63952.lnH	0,374	112,75
7 P = 0,00268.DAP ^{-0,052615} . H ^{3,09672}	0,354	115,69
4 P = -4,20472 + 1,13909.DAP - 0,08973.DAP ² + 0,00371.(DAP ² .H)	0,324	95,14
16 P = 5,12302 - 1,80886.DAP + 0,21070.DAP ² - 0,00590.DAP ³	0,281	98,16

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso do carbono, H = altura total.

As distribuições gráficas dos resíduos deixam evidente que as equações têm dificuldades de ajuste para a estimativa do carbono, pois apresentam distorções na distribuição dos resíduos, com tendência em aumentar os resíduos absolutos em árvores com DAPs maiores e diminuir os resíduos absolutos em árvores com DAPs menores, como pode ser observado na Figura 12.

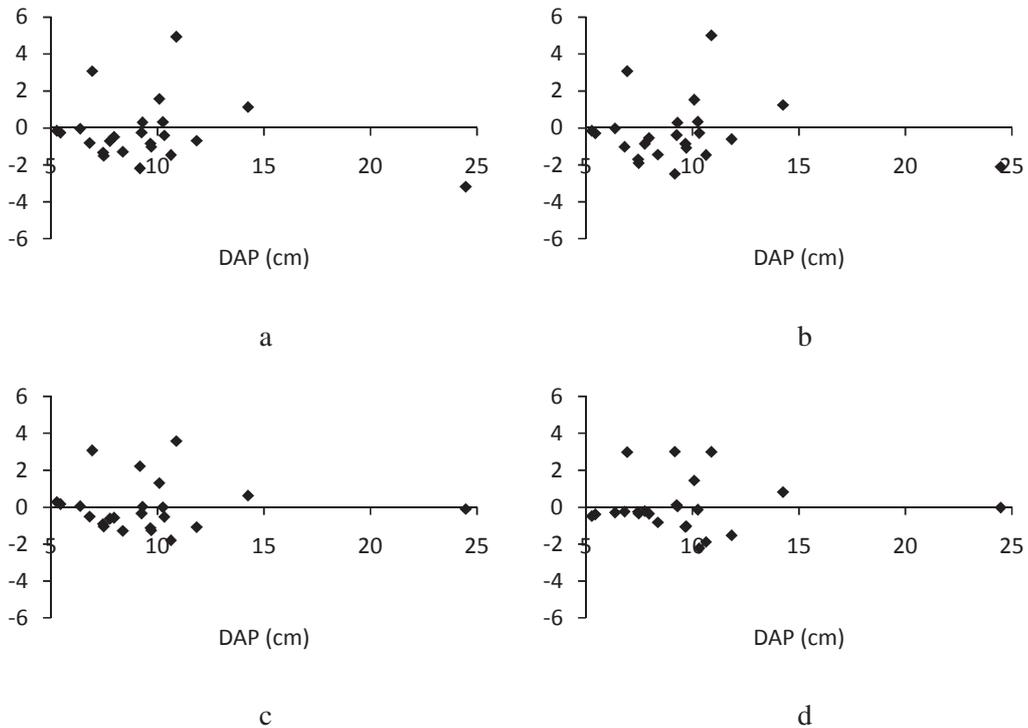


Figura 12. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono dos galhos vivos. Onde a = equação 19, b = equação 7, c = equação 4 e d = equação 16.

A equação com melhores estatísticas foi a equação 19, porém a utilização desta equação deve ser feita com ressalvas, devido ao baixo nível de precisão das estimativas, principalmente para indivíduos com diâmetros maiores. Usando esta equação estimou-se o carbono dos galhos vivos em $12,05 \text{ Mg.ha}^{-1}$.

4.2.6 Ajuste de equações para estimativa do carbono dos galhos mortos

As equações ajustadas para estimativa do carbono dos galhos mortos apresentaram bom R^2_{aj} , variando de 0,836 a 0,924 e Syx de 71,27 a 48,33%, sugerindo que os resultados apresentados na Tabela 13 podem ser considerados satisfatórios.

Tabela 13 – Resultados do ajuste de equações para estimativa do carbono dos galhos mortos em Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque, PR.

EQUAÇÕES	Estatísticas	
	R ² aj	Syx%
18 $P = -74,83978 + 44,81933.DAP - 10,45300.DAP^2 + 1,18733.DAP^3 - 0,06571.DAP^4 + 1,42E-03.DAP^5$	0,924	48,33
17 $P = 16,97568 - 8,15593.DAP + 1,41517.DAP^2 - 0,10547.DAP^3 + 0,00287.DAP^4$	0,901	55,38
16 $P = - 3,07508 + 1,14642.DAP - 0,13926.DAP^2 + 0,00566.DAP^3$	0,851	67,99
3 $P = 0,69151 - 0,15325.DAP + 9,19E-04.(DAP^2.H)$	0,836	71,27

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore; ln = logaritmo natural; P = peso do carbono, H = altura total.

Na análise gráfica das distribuições dos resíduos pode ser observada uma menor amplitude na equação 18, como demonstrado na Figura 13a. Porém, esta equação fornece um erro padrão da estimativa elevado e seu ajuste não levou em consideração árvores de DAPs maiores que 15 cm, sendo que quando utilizada para estimar o carbono dos galhos mortos, forneceu resultados irreais, a equação que forneceu os resultados com maior exatidão foi a equação 3.

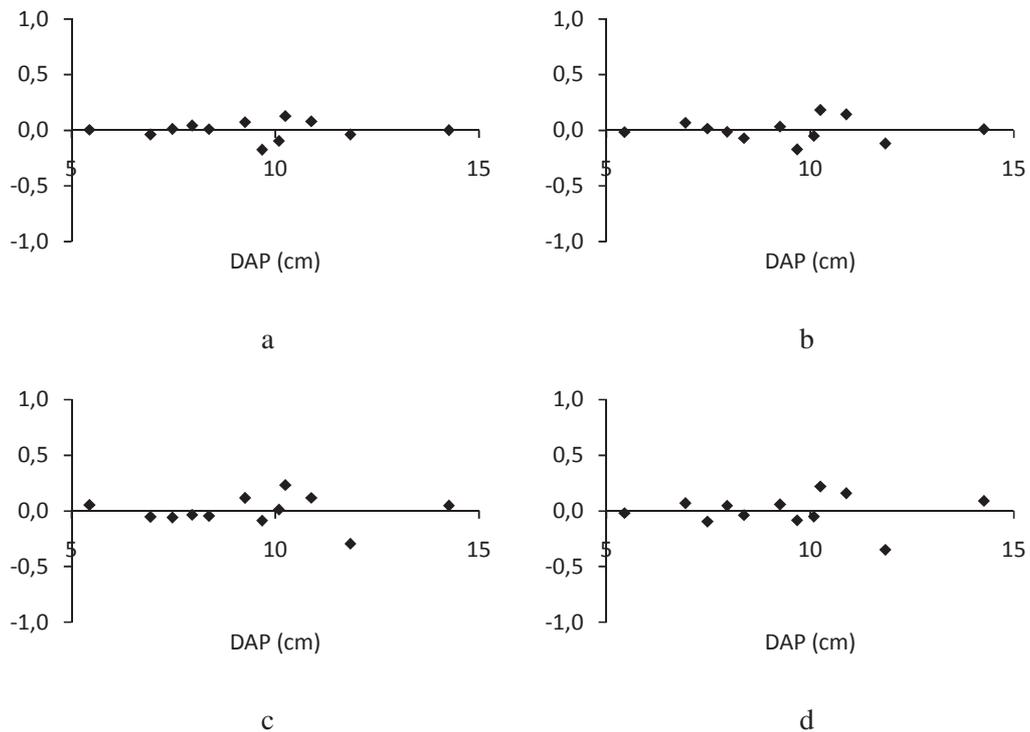


Figura 13. Distribuição dos resíduos das quatro melhores equações ajustadas para carbono dos galhos mortos. Onde a = equação 18, b = equação 17, c = equação 16 e d = equação 3.

Com base nas estatísticas apresentadas pelas equações e na distribuição gráfica dos resíduos, a equação 3, mostrou-se como sendo a melhor equação para estimativa do carbono dos galhos mortos. Usando esta equação estimou-se o carbono dos galhos mortos em $1,19 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, semelhantes aos valores encontrados por Watzlawick, *et al.* (2002), que obteve valores na ordem de $1,70 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para o mesmo estágio de regeneração.

4.2.7 Carbono da serapilheira

A variação na quantidade de serapilheira acumulada nos solos florestais é fortemente influenciada por diversos fatores, entre eles, as características das espécies, idade, condições climáticas, estágio sucessional, e processos fisiológicos e genéticos.

No presente estudo verificou-se um acúmulo de carbono na serapilheira, da ordem de $7,04 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, valores estes inferiores aos obtidos por Watzlawick, *et al.* (2002), da ordem de $8,46 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para o mesmo estágio de regeneração.

4.2.8 Carbono do sub-bosque

A quantificação de carbono do sub-bosque totalizou $2,21 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, valores inferiores aos observados por Watzlawick, *et al.* (2002), da ordem de $8,46 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para o mesmo estágio de regeneração.

4.3 Considerações sobre o capítulo e síntese dos resultados

Para ajustar equações mais precisas, sugere-se amostrar um número maior de indivíduos nas diferentes classes diamétricas e ajustá-las por espécies ou por famílias. O agrupamento das árvores com as mesmas características pode fornecer uma base de dados que proporcione um melhor ajuste de equações de regressão.

Na tabelas 14 está apresentada a síntese dos resultados com a melhor equação para cada componente das árvores, bem como os respectivos valores do coeficiente de determinação e erro padrão de estimativa.

Tabela 14 – Resultado das melhores equações para estimativa da Biomassa seca nos componentes das árvores da Floresta Ombrófila Mista Montana, Boa Ventura do São Roque, PR.

Componentes	Modelos das equações	ESTATÍSTICAS	
		R ² aj	Syx%
Biomassa Seca casca	20 $P = -0,46510 + 0,01667.DAP^2 + 0,01384.H^2 + 2,33E-04.(DAP^2.H)$	0,928	25,08
Biomassa Seca do fuste	7 $P = 0,03236.DAP^{1,43770} \cdot H^{1,17393}$	0,840	58,71
Biomassa Seca galhos mortos	3 $P = 1,58562 - 0,35261.DAP + 0,00212.(DAP^2.H)$	0,831	72,24
Biomassa Seca parte aérea	7 $P = 0,04821.DAP^{1,34374} \cdot H^{1,26829}$	0,806	65,13
Biomassa galho vivo	18 $P = 146,48611 - 79,70256.DAP + 16,42125.DAP^2 - 1,59194.DAP^3 + 0,007258.DAP^4 - 0,00122.DAP^5$	0,640	70,70
Biomassa Seca folhagem	7 $P = 1,75E-04.DAP^{3,10334} \cdot H^{0,47270}$	0,393	138,06

Na tabela 15 está apresentada a síntese dos resultados com a melhor equação para cada componente das árvores.

Tabela 15 – Resultado das melhores equações para estimativa do carbono nos componentes das árvores da Floresta Ombrófila Mista Montana, Boa Ventura do São Roque, PR.

Componentes	Modelos das equações	ESTATÍSTICAS	
		R ² aj	Syx%
Carbono casca	20 $P = -0,23082 + 0,00777.DAP^2 + 0,00578.H^2 + 0,00010.(DAP^2.H)$	0,929	25,76
Carbono madeira fuste	7 $P = 0,01395.DAP^{1,43776} \cdot H^{1,18827}$	0,837	58,66
Carbono galhos mortos	3 $P = 0,69151 - 0,15325.DAP + 9,19E-04.(DAP^2.H)$	0,831	72,24
Carbono parte aérea	7 $P = 0,01996.DAP^{1,35703} \cdot H^{1,28396}$	0,808	65,67
Carbono folhagem	7 $P = 6,23E-05.DAP^{3,15596} \cdot H^{0,521976}$	0,401	139,12
Carbono galhos vivos	19 $\ln P = -6,03967 + 2,63952.\ln H$	0,374	112,75

Na tabela 16 está apresentada a síntese dos resultados para estimativa do peso de biomassa seca e carbono para cada componente.

Tabela 16 – Estoque de biomassa seca e carbono orgânico nos componentes das árvores da Floresta Ombrófila Mista Montana, Boa Ventura do São Roque, PR.

Componente	Biomassa Mg.ha ⁻¹	Carbono Mg.ha ⁻¹
Parte aérea	59,04	26,36
Madeira do fuste	41,04	18,32
Galhos vivos	27,06	12,05
Serrapilheira	18,69	7,04
Casca	9,68	4,29
Folhagem	5,77	2,72
Sub-bosque	4,92	2,21
Galhos mortos	2,77	1,19

5. CONCLUSÕES

O ajuste das equações de regressão forneceu melhores resultados para a biomassa seca e carbono da casca e madeira do fuste respectivamente, e os resultados foram considerados satisfatórios e similares aos encontrados por outros autores.

Para a parte aérea total e galhos mortos, os resultados foram considerados satisfatórios, porém menos precisos.

Para os componentes galhos vivos e folhagem, as equações ajustadas não forneceram estatísticas satisfatórias, denotando imprecisão nas estimativas. Os resultados insatisfatórios para as equações ajustadas para os componentes galhos vivos e folhagem devem estar associados ao grande número de espécies presentes na área estudada, necessitando uma amostragem maior.

O uso de equações de regressão para a estimativa do carbono e biomassa florestal da área em estudo pode ser uma boa alternativa como método indireto de quantificação.

A estimativa de biomassa e carbono total ficou abaixo do encontrado por outros autores, este fato pode estar associado à exploração de madeira ocorrida no passado, retirando as árvores de maior porte e maior valor econômico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 2006. 165p.

BRUN, F. G. K. **Dinâmica do Carbono orgânico em espécies arbóreas de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul**. 2007. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. 2003. 176p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

HOPPE, J. M.. **Biomassa e nutrientes em *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. Estabelecido no município de Dom Feliciano - RS**. 2003. 143p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. 1994. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, p.38–76, 1994.

IPCC. **Guidlines for National Greenhouse Gás Inventories**. Kanagawa: IGES, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>. Acesso em: 04 setembro 2010.

KOEHLER, H. S. **Estatística experimental**. Curitiba: UFPR, 2004. 124p.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; VALÉRIO, A. F. Fontes de erros nas estimativas da biomassa e carbono fixado na Floresta Ombrófila Mista. **Biomassa e Energia**. Viçosa, v.2, n.1, p.69-77, 2005.

MACHADO, S. A. *et al.* Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* Benth. na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**. Viçosa, v.32, n.3, p.465-478, 2008.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA, R. L. **Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais**: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In: Seminário Emissão x Sequestro de CO₂. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. 221p.

MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.1, p.101-111, 2008.

MIRANDA, D. L. C. de. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e Carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. 2008. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

ORELLANA, R.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**. Curitiba, v.6, n.2, p.229-237, abr./jun. 2008.

PÁSCOA, F.; MARTINS, F.; GONZÁLEZ, R. S.; JOÃO, C. Estabelecimento simultâneo de equações de biomassa para o Pinheiro Bravo. 2008. Disponível em: <<http://www.gruponahise.com/simposio/papers%20pdf/13%20Fernando%20P%Elasca.pdf>>. Acesso em: 20 de setembro de 2010.

RESENDE, D; MERLIN, S; SANTOS, M. **Sequestro de Carbono: uma experiência concreta**. Palmas: Instituto Ecologia, 2001. 178p.

RESENDE, A. V; VALE, A. T; SANQUETA, C. R; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Florestalis**. n.71, p. 65-76, 2006.

ROSSI, L. M. B. **Processo de difusão para simulação da dinâmica de floresta natural**. 2007. 148p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SANQUETTA, C. R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: ; SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. 264p.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de Eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.especial, p.2723-2733, 2008.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM, 1997. 217p.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardiere) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.45-53, 2007.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de Carbono em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa**. 2008. 129p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de Carbono na parte aérea de árvores de Eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.5, p.533-539, 2002.

SOCHER, L. G. **Dinâmica e biomassa aérea de um trecho de Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária, Paraná**. 2004. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

URBANO, E. **Quantificação e estimativa da biomassa aérea e do Carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 2007. 160p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SANTOS, R. T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S. Ajuste de modelos matemáticos para estimativa dos distintos componentes de uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thund). **Ambiência**, Guarapuava, v.3, n.3, p.325-336, set/dez. 2007.

WATZLAWICK, L. F. **Fixação de Carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração**. 2002. 21p. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. As florestas e o Carbono. Curitiba: UFPR, 2002. 264p.

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

WATZLAWICK, L. F.; *et al.* Teores de carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. **Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: A M Impressos, 2004. 205p.

WATZLAWICK, L. F.; KOEHLER, H. S.; KIRCHNER, F. F. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Pinus taeda* L. utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência e Natura**, Santa Maria, n.28, p.45-60, 2006.

CAPITULO III: VARIAÇÃO NOS TEORES DE CARBONO EM ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA E USO DE FATORES DE CONVERSÃO

RESUMO

Este trabalho teve como objetivos avaliar os teores de carbono nos componentes de 12 espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Montana Antropizada, bem como comparar os teores observados com o fator de conversão de 50%, e verificar a influência do grupo ecológico das espécies em sua capacidade de fixar carbono. A análise estatística não demonstrou haver diferença significativa a um nível de 5% de confiança entre os teores de carbono encontrado para os diferentes componentes das árvores. No entanto, os maiores teores de carbono foram encontrados nas folhas de *Prunus brasiliensis* (46,67%), folhas de *Cupania vernalis* (45,6%) e folhas de *Nectandra lanceolata* (45,54%). Por outro lado, os menores teores foram encontrados nas folhas de *Cestrum sp.* (36,16%), casca de *Albizia polycephala* (39,4%), e casca de *Luehea divaricata* (40,5%). Considerando os teores das 12 espécies avaliadas, houve diferença significativa apenas entre as espécies *Nectandra lanceolata*, espécie que apresentou o maior teor médio (45,06%), e *Cestrum sp.*, que apresentou o menor teor médio (41,77%). Comparando os teores médios observados de todas as espécies com o fator de conversão amplamente utilizado de 50%, constatou-se que esse superestima a quantidade de carbono nas árvores a uma média de 14,27%, gerando valores não representativos sobre a capacidade das árvores em fixar o carbono. O grupo ecológico a que pertencem as espécies estudadas não interfere em sua capacidade de armazenar carbono, considerando que houve a formação de agrupamentos por semelhança nos teores de carbono representado por espécies de todas as fases sucessionais.

Palavras-chave: Floresta com Araucária; fixação de carbono; análise de agrupamento; fator de conversão; grupos ecológicos.

CHAPTER III: THE VARIATIONS IN THE CARBON CONTENT OF ARBOREAL SPECIES OF AN ARAUCARIA FOREST, AND THE USE OF THE CONVERSION FACTOR

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the carbon content in the components of 12 arboreal species; to compare these values with the 50% conversion factor; and evaluate the influence of the trees' ecological groups in their carbon fixation capacity. The statistical analysis did not show differences at 95% of probability, among the carbon content found in the trees' components. Although, the highest carbon content was found in *Prunus brasiliensis* foliage (46,67%), *Cupania vernalis* foliage (45,6%), and *Nectandra lanceolata* foliage (45,54%). By the other hand, the lowest carbon content was found in *Cestrum sp.* foliage (36,16%), *Albizia polycephala* bark (39,4%), and *Luehea divaricata* (40,5%) bark. Comparing the 12 species, there were differences only between *Nectandra lanceolata*, which presented the highest carbon content mean (45,06%), and *Cestrum sp.*, which presented the lowest carbon content mean (41,77%). The comparison between the carbon content means, found for all the evaluated species, and the 50% conversion factor widely used, showed that the conversion factor overestimates the carbon content in the trees at an average rate of 14,27%, generating values not representative of the tree carbon fixation capacity. The ecological grouping did not show influence on the tree's carbon fixation capacity, considering the creation of groups with trees from different ecological groups.

Key-words: Araucaria's forest; carbon fixation; grouping analysis, conversion factor; ecological groups.

1. INTRODUÇÃO

A elevação nos níveis de dióxido de carbono na atmosfera e as mudanças climáticas a níveis globais têm aumentado consideravelmente a preocupação com o balanço do carbono em ecossistemas florestais, particularmente em respeito às obrigações impostas pelo protocolo de Kyoto (BERT e DANJON, 2006).

O balanço global do dióxido de carbono é fortemente influenciado pelas florestas, considerando que estas armazenam carbono na biomassa das árvores, no sub-bosque, na serapilheira e no solo. Sendo assim, diferentes tipologias florestais possuem capacidades distintas de armazenar o carbono na biomassa, em função dos diferentes estágios de sucessão, idade, regime de manejo, composição florística e teor de carbono nos componentes das diferentes espécies (WATZLAWICK *et al.*, 2004).

Em países tropicais, historicamente, a floresta vem sendo substituída pelas culturas agrícolas e pastagens. Esta situação pode mudar se serviços adicionais forem considerados, principalmente o seqüestro de carbono. Pagamentos por tal serviço, estipulados nos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto, podem ser um incentivo aos proprietários de terras nos países em desenvolvimento, para a recomposição e/ou não supressão das florestas (LACERDA, *et al.* 2009).

Em todo o mundo, as florestas tropicais vêm sendo convertidas em áreas de agricultura e degradadas a uma taxa próxima a 1% ao ano (FAO, 1997). O dióxido de carbono emitido durante a conversão do uso da terra nos trópicos representa praticamente toda a quantidade de carbono estimada que é transferida globalmente da vegetação para a atmosfera (1,6-2,4 Gt) a cada ano (SCHIMMEL, 1995).

Apesar da importância das florestas tropicais como estoques de carbono, a participação dessas no ciclo do carbono ainda não é bem compreendida, devido à sua grande variabilidade, o que gera maior dificuldade em estudá-las, quando comparadas com outras tipologias vegetais (GRACE *et al.*, 2001).

Nesse contexto, faz-se necessário desenvolver estudos que permitam uma melhor compreensão da capacidade das florestas para armazenar o carbono, bem como o fluxo desse elemento dentro dos ecossistemas florestais. A avaliação de tipologias florestais distintas quanto aos níveis de carbono, bem como o estudo dos teores nas diversas espécies e componentes torna-se essencial para o entendimento do balanço de carbono nas florestas.

O presente capítulo foi desenvolvido com a finalidade de fornecer informações a respeito dos teores de carbono em diferentes espécies florestais, contribuindo para o melhor

entendimento da dinâmica do carbono em ecossistemas florestais. Sendo assim, os objetivos desse trabalho são: avaliar os teores de carbono presentes em 12 espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Montana; avaliar as possíveis variações estatísticas nos teores entre os componentes das árvores; comparar os teores de carbono observados com o fator de conversão de 50%; e testar a influência do grupo ecológico das espécies em seus teores de carbono.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo estimativas da FAO (2005), as florestas mundiais acumulam cerca de 638 Gt de Carbono, sendo que 283 Gt estão presentes na biomassa. Estimativas precisas do carbono estocado nas florestas e de seu fluxo são pré-requisitos para determinar a contribuição dos ecossistemas florestais no balanço global do carbono.

Nas florestas, o balanço do carbono é resultado da absorção do dióxido de carbono pela plantas, para sustentar o processo da fotossíntese, e da emissão de CO₂ como produto da respiração autotrófica. Os carboidratos formados pelo processo de fotossíntese são alocados nos diferentes componentes das plantas (folhagem, galhos, fuste e raízes), e a proporção do carbono fixado pelas árvores destinadas aos seus componentes é o que determina o seu padrão de crescimento, o potencial de crescimento futuro e a habilidade para tolerar estresses ambientais (LANDSBERG e GOWER, 1997).

O teor de carbono nas plantas é afetado por todos aqueles fatores relacionados com a fotossíntese e a respiração (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996). A acumulação do carbono e produção de biomassa é diferente de local para local onde é medida, refletindo a variação dos diversos fatores ambientais e fatores inerentes à própria planta, existindo uma relação entre biomassa e a produtividade primária, relação esta conhecida como acumulação de biomassa. Esta relação é normalmente baixa em povoamentos jovens de rápido crescimento e é maior onde a maior parte da energia é utilizada para manter o alto estoque de biomassa existente (CAMPOS, 1991; CALDEIRA, 1998).

Para Bert e Danjon (2006), são muitos os fatores que potencialmente contribuem para a variação inter e intra-específica nos teores de carbono das plantas e seus componentes, haja vista que a concentração de carbono é predominantemente determinada por interações entre os genes e o ambiente em que se encontram as plantas.

Para Watzlawick *et al.* (2002), estudos desenvolvidos em florestas naturais são pouco expressivos, devido, principalmente, à complexidade do ecossistema. No entanto, isso não

diminui a importância da participação das florestas no processo de fixação de carbono. Atribui-se também às florestas, os benefícios socioeconômicos, pela geração de emprego e renda oriunda do manejo sustentado, bem como através da recomposição de áreas degradadas, filtros biológicos para a purificação da água ou a realização de projetos que se relacionem com o extrativismo de produtos não madeiráveis.

A capacidade para estimar a produtividade de florestas, as conseqüências dos distúrbios naturais e das práticas de manejo que afetam o seu crescimento, permanecerá limitada até compreendermos os fatores que influenciam na alocação de carbono em seu interior, o que influencia seus padrões de crescimento (LANDSBERG e GOWER, 1997).

Consequentemente, o conhecimento dos parâmetros de uma floresta fornecem valiosas informações quantitativas e qualitativas para a tomada de decisões e aplicabilidade de medidas compensatórias em relação às emissões de gás carbônico, e na quantificação da biomassa e carbono florestal, favorecendo a compensação dos danos causados ao meio ambiente, através da recomposição de florestas degradadas (MEDEIROS, 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A localização e caracterização da área de estudo encontra-se descrita no capítulo 1.

3.1 Quantificação do Carbono

Das 26 espécies utilizadas nos capítulos anteriores, selecionou-se 12 que continham todos os componentes coletados (folhas, galhos mortos, galhos vivos, casca e fuste) para o cálculo dos teores de carbono.

Os diferentes componentes amostrados foram acondicionados em sacos de papel, identificados e secos em estufas de circulação de ar, a uma temperatura constante de 75°C até atingir o peso constante, para posterior moagem. A determinação dos teores de carbono orgânico na biomassa florestal foram obtidos pelo método WALKLEY-BLACK, com calor externo, proposto por Tedesco *et al.* (1995), no laboratório de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

3.2 Análise Estatística

Para avaliar as possíveis diferenças entre os teores de carbono dos diferentes componentes das árvores avaliadas e entre as diferentes espécies, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA), realizada com o auxílio do *software Assistat 7.6* (2011). Comparando as diferentes espécies entre si quanto aos seus teores de carbono, considerou-se 12 tratamentos (cada espécie representando um tratamento), com 5 repetições cada (cada repetição consiste num dos componentes das árvores). Para a análise dos componentes, considerou-se 5 tratamentos (cada componente representando um tratamento) e as repetições variaram de acordo com o número de árvores amostradas.

3.3 Comparação dos teores de carbono com o fator de conversão de 50 %

A superestimativa/subestimativa obtida com a utilização do fator de conversão de 50% foi calculada pela expressão:

$$SP \% = \frac{[(1000 * 50\%) - C]}{C}$$

Onde:

SP% = Superestimativa relativa;

C = Concentração de carbono presente em 1000 kg de biomassa (kg)

3.4 Agrupamento das espécies conforme grupo ecológico

As espécies foram agrupadas em pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax, de acordo com dados presentes em literatura especializada. O agrupamento foi testado através da análise de agrupamento (*cluster*), realizada pelo *software Statgraphics XV.II* (2005). Para o agrupamento, utilizou-se o “método do vizinho mais distante”, com a separação dos grupos na metade da distância euclidiana máxima observada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variações nos teores de carbono entre componentes e espécies.

Os resultados das espécies amostradas com seus respectivos teores de carbono (%) por componente estão relacionados na Tabela 1. Os maiores teores de carbono foram observados nas folhas de *Prunus. brasiliensis* (46,67%), de *Cupania. vernalis* (45,6%) e de *Nectandra. lanceolata* (45,54%). Por outro lado, os menores teores foram observados nas folhas de *Cestrum sp.* (36,16%) e casca de *Albizia. polycephala* (39,4%) e de *Luehea. divaricata* (40,5%).

Tabela 1 – Teores de carbono (%) por componente das espécies amostradas em Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Boa Ventura do São Roque – Pr, 2009.

Espécies	Casca	G. Vivo	G. Morto	Fuste	Folha	Média	C V %
<i>Nectandra lanceolata</i>	44,40	44,77	45,25	45,36	45,54	45,06	1,03
<i>Vitex megapotamica</i>	45,39	44,00	44,95	45,16	44,83	44,86	1,17
<i>Prunus brasiliensis</i>	43,43	45,33	45,16	43,25	46,67	44,76	3,19
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	44,40	44,78	44,82	45,36	43,28	44,52	1,74
<i>Matayba elaeagnoides</i>	44,02	43,99	42,94	45,12	45,27	44,26	2,15
<i>Nectandra megapotamica</i>	42,82	45,13	41,71	45,21	45,23	44,02	3,74
<i>Cupania vernalis</i>	43,43	43,25	42,87	44,39	45,60	43,90	2,50
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	43,17	43,66	43,04	44,22	44,12	43,64	1,22
<i>Allophylus edulis</i>	42,42	43,09	43,55	44,77	43,50	43,46	1,97
<i>Luehea divaricata</i>	40,50	43,35	42,97	44,34	42,48	42,72	3,32
<i>Albizia polycephala</i>	39,40	42,59	41,95	44,74	42,88	42,31	4,56
<i>Cestrum sp.</i>	41,28	43,39	44,40	43,66	36,16	41,77	8,01

Para testar a hipótese se havia variações nos teores de carbono entre os componentes das árvores das diferentes espécies, realizou-se a análise de variância. Os resultados da ANOVA estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise de Variância entre os componentes das árvores avaliadas.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Tratamentos	4	18,83	4,71	1,78 ns
Resíduo	55	145,33	2,64	
Total	59			

Conforme a análise estatística apresentada na Tabela 2, não houve diferença significativa a 5% de probabilidade, entre os teores de carbono dos diferentes componentes. No entanto, embora os teores sejam estatisticamente semelhantes, o componente que apresentou o maior teor de carbono foi o fuste (44,63%), seguido por galhos vivos (43,94%), folhas (43,80%), galhos mortos (43,63%) e casca (42,89%).

As espécies que apresentaram os maiores Coeficientes de Variação – CV – (Tabela 1), foram *Cestrum* sp. (8,01%) e *Albizia polycephala* (4,56%). Essas duas espécies foram as que apresentaram os menores teores médios de carbono. *Nectandra laceolata* e *Vitex megapotamica* foram as duas espécies que apresentaram maior homogeneidade quanto aos teores de carbono nos diferentes componentes (CV% de 1,03 e 1,17, respectivamente). Essas espécies foram as que apresentaram os maiores teores médios de carbono.

Estudando os teores de Carbono na Floresta Ombrófila Mista, Watzlawick *et al.* (2004), constataram que os maiores teores de carbono encontram-se nas folhas de *P. brasiliensis* (47,34%); seguido pelos galhos vivos da *Sloanea lasiocoma* (43,69%); galhos mortos da *Nectandra megapotamica* (45,23%); na casca da *Ocotea pulchella* (43,24%) e na madeira da *Araucaria angustifolia* (44,12%). Os mesmos autores encontraram os menores teores nas folhas de *Sebastiania commersoniana* (36,23%); nos galhos vivos de *Ocotea porosa* (37,28%); nos galhos mortos de *Ocotea pulchella* (36,24%); na casca de *Cupania vernalis* (34,05%); e na madeira de *Dicksonia sellowiana* (39,01%).

Comparando as espécies comuns entre o trabalho do autor e o presente estudo (*Prunus brasiliensis*, *Matayba elaeagnoides*, *Nectandra megapotamica*, *Cupania vernalis* e *Allophylus edulis*), observa-se que os teores são heterogêneos dentro da mesma espécie, reforçando a existência de variações intra-específicas, decorrentes de diferenças genéticas de cada planta e diferentes condições ambientais a que as árvores estão expostas.

Arias *et al.* (2011), avaliando teores de carbono em espécies de rápido crescimento na Costa Rica, observaram maior concentração de carbono no fuste, seguido dos galhos, folhas e casca. Os autores constataram ainda que as espécies folhosas apresentaram teores de carbono inferiores a 50% enquanto as coníferas apresentaram teores superiores a 50%, exceto para a folhagem.

Avaliando os teores de carbono em *Acacia mearnsii* De Wild., no Rio Grande do Sul, Saidelles *et al.* (2009) verificaram diferença significativa nos teores das folhas, sendo que os demais componentes não apresentaram diferença significativa.

Em trabalho sobre dinâmica do carbono orgânico em espécies da Floresta Estacional Decidual, no Rio Grande do Sul, Brun (2007) constatou que a prioridade de alocação do

carbono na floresta seguiu a tendência: madeira > galhos vivos > cascas > folhas > galho morto.

Para Watzlawick *et al.* (2004), o carbono está presente em todos os componentes das árvores, em teores muito semelhantes. Tal afirmação é válida neste estudo, colaborando com a inexistência de diferenças significativas nos teores de carbono nos diferentes componentes.

Com base nos trabalhos citados, percebe-se que a alocação do carbono nos diferentes componentes das árvores é variável, tendo como principal fator de influência a fisiologia da planta e a complexação do carbono, sendo a seqüência de alocação predominante diferente entre as espécies. Segundo Hoppe (2003), essa variação pode ser devido às características das plantas de canalizar os nutrientes para os diferentes órgãos, através do ciclo biogeoquímico, em função de sua mobilidade na planta, ou ainda, podem ser atribuídas às deficiências do solo. Viezzani (1997) acrescenta que essa heterogeneidade na distribuição do carbono nas partes das plantas deve-se também ao momento da coleta das amostras, quando as árvores podem estar em plena atividade de crescimento, e ainda, conforme a época do ano.

Na Figura 1 são apresentados as média dos teores de carbono observadas para as espécies avaliadas. As três espécies que apresentaram as maiores médias nos teores de carbono foram *Nectandra lanceolata*, com 45,06%, seguida por *Vitex megapotamica*, com 44,86%, e *Prunus brasiliensis*, com 44,76%. A espécie que apresentou os menores teores médios de carbono foi *Cestrum sp.* (41,77%).

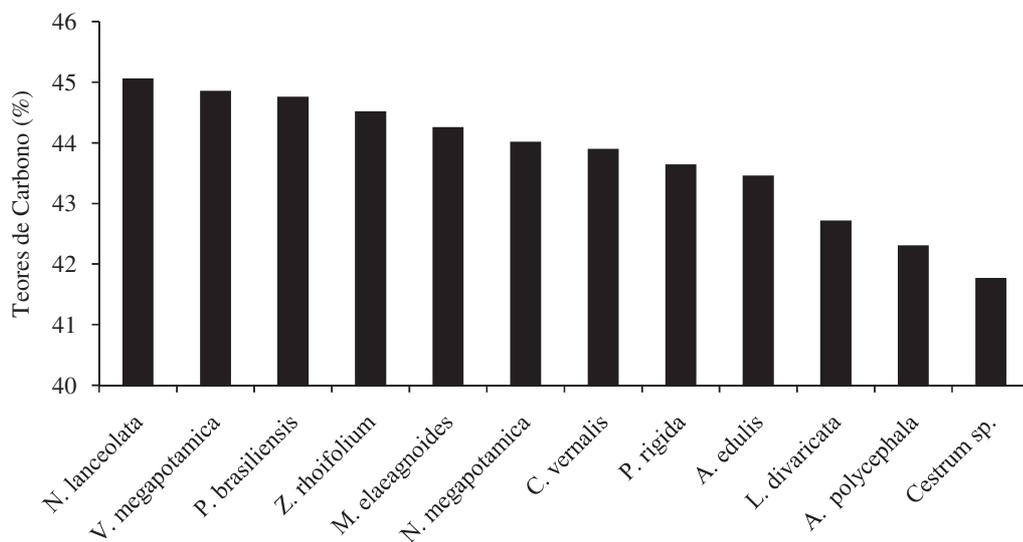


Figura 1. Representação gráfica da média dos teores de carbono por espécie.

A análise de variância para os teores de carbono das diferentes espécies indicou haver diferença significativa a 5% de probabilidade, apenas entre as espécies *Nectandra lanceolata* e *Cestrum* sp., espécies essas que apresentaram os maiores e menores teores de carbono, respectivamente. As demais espécies foram consideradas semelhantes à *Nectandra lanceolata* e a *Cestrum* sp, e ainda, semelhantes entre si (CV% de 3,36% ; p de 0,013).

Comparando a média dos teores de carbono das espécies com o fator de conversão amplamente usado, de 0,5, ou 50%, percebe-se que esse difere estatisticamente das médias observadas para as espécies, conforme a Tabela 3 (CV% de 3,19 ; p de 0,001).

Tabela 3 – Comparação dos teores de carbono entre as espécies da Floresta Ombrófila Mista e um fator de conversão, estimativa dos valores quando usado o fator de conversão de 50%.

Espécies	Média (%)		Superestimativa (%)
Fator de Conversão	50,00	a	0,00
<i>Nectandra lanceolata</i>	45,06	b	10,96
<i>Vitex megapotamica</i>	44,86	bc	11,46
<i>Prunus brasiliensis</i>	44,76	bc	11,71
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	44,53	bc	12,29
<i>Matayba elaeagnoides</i>	44,27	bc	12,95
<i>Nectandra megapotamica</i>	44,02	bc	13,58
<i>Cupania vernalis</i>	43,91	bc	13,87
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	43,64	bc	14,57
<i>Allophylus edulis</i>	43,47	bc	15,03
<i>Luehea divaricata</i>	42,73	bc	17,02
<i>Albizia polycephala</i>	42,31	bc	18,17
<i>Cestrum</i> sp.	41,78	c	19,68

Teste de Tukey a 5% de probabilidade de confiança para os teores médios de carbono por espécie (médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente), e superestimativa encontrada para o uso do fator de conversão de 50%.

Observa-se que o uso do fator de conversão de 50% gerou superestimativas nos teores de carbono para todas as espécies avaliadas. Os valores superestimados variaram entre 10,96% para *Nectandra lanceolata* e 19,68% para *Cestrum* sp. gerando uma variação média de 14,27%.

Estudando os teores de carbono em *Pinus pinaster* (Ait), Bert e Danjon (2006) constataram diferenças significativas entre o fator de conversão e os teores observados, que para a espécie estudada foi de -6,7%, incorrendo em erros consideráveis de subestimativa na quantidade de carbono estocado em florestas com essa espécie.

Laiho e Laine (1997), avaliando os teores de carbono em *Pinus sylvestris* L., identificaram uma diferença média de -5,8% nos valores reais, quando comparados com o fator de conversão de 50%.

Thomas e Malczewski, 2007; Lamloom e Savidge, 2003, enfatizam que o fator de conversão de 50% é uma mera aproximação, não devendo ser utilizado indiscriminadamente. Por outro lado, Zhang *et al.* (2009), estudando 10 diferentes espécies na China, não encontraram diferença significativa entre a média e o fator de conversão, embora os teores de carbono dos fustes apresentassem variações significativas entre as espécies (43,4 a 55,6%).

As superestimativas do presente estudo, obtidas com o uso do fator de conversão de 50% justificam-se pelo fato de se tratarem de espécies folhosas, que apresentam menores teores de carbono, quando comparadas às coníferas (THOMAS e MALCZEWSKI, 2007). Além do mais, tais resultados ressaltam a dificuldade em se inferir de forma generalizada a respeito do teor de carbono em florestas, considerando as variações intra e inter específicas, que ocorrem de acordo com a idade das árvores e com a tipologia florestal.

Para Watzlawick *et al.* (2004), os teores de carbono estimados a partir do fator de conversão de 50% não representam a realidade, ressaltando-se a importância da determinação dos teores de carbono por espécie e por componente da planta, visando obter quantificações do carbono baseadas em dados reais.

4.2 Análise de agrupamentos em função dos teores de carbono dos componentes das árvores

O dendrograma obtido com a análise de agrupamento (Figura 2) é apresentado no eixo vertical à distância euclidiana quadrada, variando de zero a oito, e no eixo horizontal as espécies analisadas, formando classes homogêneas quanto aos teores de carbono.

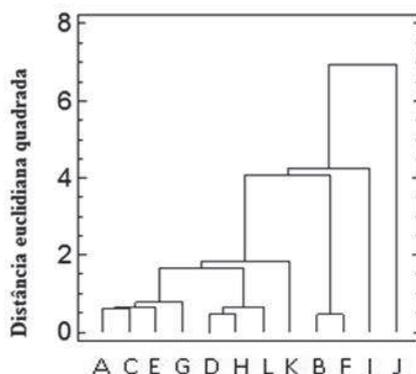


Figura 2. Agrupamento das espécies em função do teor médio de carbono em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Boa Ventura do São Roque – PR.

Para a formação dos diferentes grupos, optou-se por traçar a “linha fenon” na metade da distância euclidiada máxima (3,5), conforme a Figura 2, segundo recomendação de Bouroche e Saporta *apud* Gerhardt *et al.* (2001), o que resultou em dois grupos distintos, e duas espécies isoladas.

O primeiro agrupamento foi formado pelas espécies *Anadenanthera macrocarpa*, *Matayba elaeagnoides*, *Nectandra megapotamica*, *Cupania vernalis*, *Luehea divaricata*, *Albizia polycephala*, *Allophylus edulis* e *Nectandra lanceolata* (A, C, E, G, D, H, L e K, respectivamente). As espécies *Zanthoxylum rhoifolium* e *Cestrum sp.* formam o segundo grupo (B e F, respectivamente). Finalmente, as espécies *Prunus brasiliensis* e *Vitex megapotamica* (I e J, respectivamente) permaneceram isoladas, não se associando a nenhum grupo.

Conforme observa-se na Tabela 4, das espécies pertencentes ao primeiro grupo, duas são classificadas como pioneiras (*Anadenanthera macrocarpa* e *Matayba elaeagnoides*); quatro como secundárias iniciais (*Nectandra megapotamica*, *Cupania vernalis*, *Luehea divaricata*, *Albizia polycephala*); uma como secundária tardia (*Nectandra lanceolata*); e uma como clímax (*Allophylus edulis*). O segundo grupo é formado por uma espécie pioneira (*Zanthoxylum rhoifolium*), e uma espécie secundária (*Cestrum sp.*). Já as espécies isoladas estão ambas classificadas como secundárias iniciais.

Tabela 4 – Classificação ecológica das espécies avaliadas em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Boa Ventura do São Roque – PR.

Espécie	Grupo Ecológico	Referência
<i>Albizia polycephala</i>	Secundária inicial	Peixoto <i>et al.</i> , 2004
<i>Allophylus edulis</i>	Clímax	Cezare <i>et al.</i> , 1998
<i>Cestrum sp.</i>	Secundária	Lorenzi, 2002
<i>Cupania vernalis</i>	Secundária inicial	Rozza, 1997
<i>Luehea divaricata</i>	Secundária inicial	Vaccaro <i>et al.</i> , 1999
<i>Matayba elaeagnoides</i>	Pioneira	Backes e Irgang, 2002
<i>Nectandra lanceolata</i>	Secundária tardia	Silva <i>et al.</i> , 2003
<i>Nectandra megapotamica</i>	Secundária inicial	Longhi, 1995
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Pioneira	Backes e Irgang, 2002
<i>Prunus brasiliensis</i>	Secundária inicial	Aguiar <i>et al.</i> , 2000
<i>Vitex megapotamica</i>	Secundária inicial	Durigan <i>et al.</i> , 1997
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Pioneira	Salis <i>et al.</i> , 1994

As espécies *Vitex megapotamica* e *Prunus brasiliensis*, permaneceram isoladas, são a segunda e a terceira espécie, com os maiores teores de carbono respectivamente. Entretanto, a

justificativa de que as espécies com os maiores teores de carbono permaneceram isoladas não é totalmente válida, considerando que *Nectandra laceolata*, a espécie com o maior teor de carbono, foi agregada ao primeiro grupo. Diferenças verificadas com base na variância e coeficiente de variação das espécies não demonstram que esses parâmetros foram determinantes no agrupamento das espécies, havendo grandes variações dentro de um mesmo grupo.

Estudos mostram que teores de carbono podem variar tanto entre espécies de grupos distintos, quanto dentro de um grupo de espécies consideradas semelhantes. Elias e Potvin (2003), avaliando os teores de carbono no fuste de 32 espécies tropicais do Panamá, constataram uma variação de 44,4 a 49,4%. Para esses autores, não foi possível relacionar os teores de carbono das espécies estudadas e seus respectivos grupos ecológicos. Huet *et al.* (2004), avaliando *Fagus sylvatica* (folhosa), na França, verificaram um teor de carbono médio de 47,5%, enquanto Matthews (1993) apud Bert e Danjon (2006), observou variação de 48 a 54,4% nos teores de carbono na madeira de pinus em florestas temperadas.

Avaliando a capacidade de fixação de carbono de espécies de grupos sucessionais distintos, Brun (2007) concluiu que para as frações galhos vivos e mortos e na madeira (fuste), o maior potencial de acúmulo foi apresentado pelas espécies do grupo das secundárias iniciais, enquanto que nas cascas ocorreu uma equivalência na alocação entre os grupos da secundária inicial e tardia. Na fração folhas, a maior quantidade do elemento foi observada nas espécies do sub-bosque, que segundo o autor, deve-se principalmente, à típica competição por luminosidade entre as espécies formadoras deste estrato e a elevada densidade de indivíduos por área.

Em estudos da biomassa e carbono conduzidos em áreas recuperadas com espécies nativas no estado de São Paulo, Lacerda *et al.* (2009), constatou que na distribuição da biomassa da árvore entre fuste e galhada, nas espécies pioneiras, a galhada tende a ter uma importância maior que o fuste, enquanto que nas espécies não-pioneiras, o fuste e a galhada apresentam biomassa parecidas.

Stape *et al.* (2007), avaliando o potencial de fixação de carbono em reflorestamentos com espécies de diferentes grupos sucessionais, observaram que as maiores taxas de fixação são observadas em plantios com maior porcentagem de espécies pioneiras. No entanto, Zhang *et al.* (2009) verificaram correlação negativa entre o incremento médio anual (IMA) e a concentração de carbono. Isso indica que, embora haja um maior incremento de biomassa em espécies pioneiras, não há necessariamente maior ganho em concentração de carbono, já que existem diferenças nas proporções dos componentes produzidos por espécies iniciais, pois

mais componentes com baixas concentrações de carbono, e tardias, pois produzem mais componentes com altas concentrações de carbono.

Existe dificuldade em se afirmar que o grupo ecológico correlaciona-se com a capacidade das espécies em fixar carbono, considerando que em alguns estudos essa correlação foi possível, enquanto em outros, não. Os dados dos agrupamentos do presente trabalho demonstram não haver correlação entre os teores de carbono e o grupo ecológico a que pertencem as espécies, considerando a existência de espécies representantes de todas as fases sucessionais em um único agrupamento. Sugere-se, portanto, que, com vistas ao agrupamento de espécies quanto aos seus teores de carbono, sejam avaliadas outras características, como densidade da madeira e incremento, visando melhores correlações.

5. CONCLUSÕES

Das 12 espécies da Floresta Ombrófila Mista Montana que foram estudadas, apenas *Nectandra lanceolata* e *Cestrum* sp apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si e foram as espécies que apresentaram os maiores e menores teores médio de carbono, respectivamente.

Os diferentes componentes avaliados não apresentaram diferenças significativas quanto ao teor de carbono.

A utilização do fator de conversão de 50% para a determinação do teor de carbono acarretou em uma superestimativa média de 14,27% em relação aos valores observados, não sendo aconselhado, portanto, a utilização desse fator.

O agrupamento das espécies por grupos ecológicos, quanto à capacidade de fixação de carbono, não demonstrou eficácia, havendo a formação de agrupamentos por semelhança nos teores de carbono representados por espécies de várias fases sucessionais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L. M. S. *et al.* A diversidade biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L. M. S. e CAMARGO, A. (ed). **Ecologia e caracterização do Cerrado**. p. 19-42. 2000.

ARIAS, D. *et al.* Productivity, aboveground biomass, nutrient uptake and carbon content in fast-growing tree plantations of native and introduced species in the Southern Region of Costa Rica, **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1779-1788, 2011.

BACKES, P.; IRGANG, B. E. **Árvores do Sul**: Guia de Identificação e Interesse Ecológico. Santa Cruz do Sul: Inst. Souza Cruz, 2002. 326p.

BERT, D.; DANJON, F. Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Aait.), **Forest Ecology and Management**, v. 222, p. 279–295, 2006.

BRUN, F. G. K. **Dinâmica do Carbono orgânico em espécies arbóreas de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2007. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

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

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

DURIGAN, *et al.* Regeneração natural da vegetação de cerrado sob floresta de *Eucalyptus citriodora*. **Revista do Instituto Florestal** v. 9 n. 1, 1997.

ELIAS, M.; POTVIN, C. Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species, **Canadian Journal of Forest Research** v. 33, p. 1039–1045, 2003.

FAO, **Global forest resource assessment: progress towards sustainable forest management**. FAO Forestry Paper, FAO, Rome, p. 147, 2005.

FAO. **State of the World's Forests** 1997. FAO: Rome, Italy, 1997.

GERHARDT, E. J. *et al.* Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo e no conteúdo de nutrientes da serapilheira. **Ciência Florestal**. v. 11, n. 2, p. 41-57, 2001.

GRACE, J.; MALHI, Y.; HIGUCHI, N.; MEIR, P. **Productivity of tropical rain forests**. San Diego: Academic Press, 2001.

HOPPE J. M. **Biomassa e nutrientes em *Platanus x Acerifolia* (Aiton) Wild. Estabelecimento no município de Dom Feliciano – RS**. Santa Maria, 2003. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

HUET, S.; FORGEARD, F.; NYS, C. Above- and belowground distribution of dry matter and carbon biomass of Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) in a time sequence, **Annals of Forest Science**, v. 61, p. 683–694, 2004.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiological of woody**. 2. ed. San Diego: Academic, 1996. 432p.

LACERDA, J. S. *et al.* Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. **METRVM**, Piracicaba, n. 5, p. 1-23, 2009. Disponível em: <http://cmq.esalq.usp.br/wiki/doku.php?id=publico:metrvm:start>. Acesso em 20 jan 2011.

- LAIHO, R.; LAINE, J. Tree stand biomass and carbon content in an age sequence of drained pine mires in southern Finland. **Forest. Ecology and Management**, v. 93, p. 161–169, 1997.
- LAMLON, S. H.; SAVIDGE, R. A. A. Reassessment of Carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. **Biomass and Bioenergy**. v. 25, p. 381-388, 2003.
- LANDSBERG, J. J.; GOWER, S. T. **Carbon Balance of Forests: Applications of Physiological Ecology to Forest Management**. Academic Press: San Diego, 1997, p. 125-160. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B85TH-4P61C9G-4/2/78f091d1736e5a62a4386f75fe8ee403> Acesso em 30 Jan 2011.
- LONGHI, R. A. **Livro das árvores; árvores e arvoretas do Sul**. 2.ed., Porto Alegre, 1995, 176p.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras - manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**, v. 01, 4 ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 2002. 384 p.
- MEDEIROS, J. A. F. **Quantificação de biomassa e carbono orgânico na regeneração natural de Floresta Ombrófila Mista – Nova Prata, RS**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- PEIXOTO, G. L.; MARTINS, S. V.; SILVA, A. F.; SILVA, E. Composição florística do componente arbóreo de um trecho de Floresta Atlântica na área de Proteção Ambiental da Serra da Capoeira Grande, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta botânica brasileira** v. 18, n. 1 p.151-160, 2004.
- ROZZA, A. F. **Florística, fitossociologia e caracterização sucessional em uma Floresta Estacional Semidecidual: Mata da Virgínia, Matão, SP**. Campinas, 1997. 157f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas.
- SAIDELLES, F. L. F. *et al.* Uso de equações para estimar Carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul – Brasil. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 907-915, 2009.
- SALIS, S. M.; TAMASHIRO, J. Y.; JOLY, C. A. Florística e fitossociologia do estrato arbóreo de um remanescente de mata ciliar do rio Jacaré-Pepira, Brotas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 17, n. 2, p. 93-103, 1994.
- SCHIMMEL, D. S. Terrestrial ecosystems and the global carbon cycle. **Global Change Biology**. v. 1, 1995, p. 77-91.
- STAPE, J. L. *et al.* Taxas iniciais de sequestro de carbono em área de restauração florestal são dependentes dos sistemas de implantação e manejo adotados? In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8, Caxambu, MG. **Anais...** 2007.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

THOMAS, A. C.; MALCZEWSKI, G. Wood carbon content of tree species in Eastern China: Interspecific variability and importance of the volatile fraction. **Journal of Environmental Management**, v. 85, p. 659-662, 2007.

VACCARO, S. *et al.* Aspectos da composição florística e categorias sucessionais do estrato arbóreo de três subseres de uma floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza – RS. **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p. 1-18, 1999.

VIEZZANI, F. M. **Aspectos nutricionais de povoamentos puros e mistos de *Eucalyptus saligna* Smith e *Acacia mearnsii* De Wild.** Porto Alegre: UFRGS, 1997. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. **Fixação de Carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração.** In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. As florestas e o Carbono, p. 153 – 174, 2002.

WATZLAWICK, L. F. *et al.* Teores de Carbono em espécies da Floresta Ombrófila Mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. **Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas.** Curitiba, 2004, p. 95-109.

ZHANG, Q. *et al.* Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species, **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 5, p. 722-727, 2009.