

NATHAN CASTRO FONSÊCA

**ESTIMATIVA DE BIOMASSA E NECROMASSA LENHOSA ACIMA DO SOLO EM
FLORESTA TROPICAL ÚMIDA**

**RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro - 2017**

NATHAN CASTRO FONSÊCA

**ESTIMATIVA DE BIOMASSA E NECROMASSA LENHOSA ACIMA DO SOLO EM
FLORESTA TROPICAL ÚMIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de Concentração: Ecologia e Conservação de Ecossistemas Florestais.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Borges Lins e Silva

Coorientadora:

Prof.^a Dr.^a Isabelle Maria Jacqueline Meunier

**RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro - 2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

F676e Fonsêca, Nathan Castro

Estimativa de biomassa e necromassa lenhosa acima do
solo em floresta tropical úmida / Nathan Castro Fonsêca. – 2017.

83 f. : il.

Orientadora: Ana Carolina Borges Lins e Silva.

Coorientadora: Isabelle Maria Jacqueline Meunier.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais,
Recife, BR-PE, 2017.

Inclui referências.

1. Estoque de carbono 2. Fragmento florestal 3. Matéria orgânica
I. Silva, Ana Carolina Borges Lins e, orient. II. Meunier, Isabelle
Maria Jacqueline, coorient. III. Título

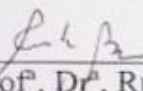
CDD 634.9

NATHAN CASTRO FONSÊCA

ESTIMATIVA DE BIOMASSA E NECROMASSA LENHOSA ACIMA DO
SOLO EM FLORESTA TROPICAL ÚMIDA

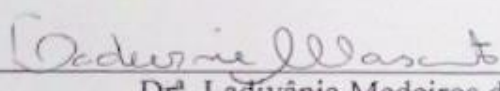
APROVADO EM: 22 / 02 / 2017

Banca Examinadora



Prof. Dr. Rute Berger

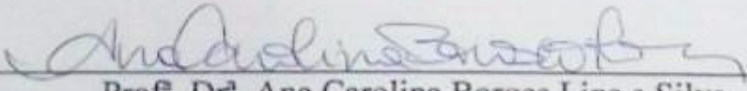
(Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE/PPGCF)
Membro Titular



Dr. Ládívânia Medeiros do Nascimento

(Jardim Botânico do Recife)
Membro Titular

Orientadora:



Prof. Dr. Ana Carolina Borges Lins e Silva

(Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE/PPGCF)

RECIFE
Pernambuco-Brasil
Fevereiro – 2017

DEDICATÓRIA

Primeiramente a DEUS, pela presença constante em minha vida; em segundo a minha família e aos amigos que sempre estiveram ao meu lado, auxiliando-me a vencer mesmo aqueles obstáculos que pareciam intransponíveis.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar meu caminho, dando-me sabedoria, saúde, força e coragem para lutar pelos meus objetivos.

À minha orientadora Dra. Ana Carolina Borges Lins e Silva e à coorientadora Dra. Isabelle Maria Jacqueline Meunier pela confiança, disponibilidade, credibilidade, apoio, orientação e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa, e à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais (PPGCF), pela oportunidade de cursar o mestrado em Ciências Florestais.

A todos os professores que fazem parte do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, em especial à Dra. Ana Lícia Patriota Feliciano (Coordenadora do programa), Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, Dr. Luiz Carlos Marangon, Dr. José Antônio Aleixo da Silva e Dr. Rafael Leite Braz, eu agradeço de todo coração.

A todos que fazem parte do Laboratório de Ecologia Vegetal (LEVE), em especial Monara Fonseca, Pedro Sena, Pedro França, Irik Oliveira, Fabiane Santos, Manuela Bandeira, Ingrid Fontes, Isabella Souto e Élyda Passos, que me acolheram e me ajudaram na execução deste trabalho.

Ao gestor do Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI), George do Rêgo Barros, pela autorização do estudo na área.

Ao auxiliar Marcos Antônio das Chagas (“Marquinhos”) pela ajuda e guia no trabalho de campo.

Aos meus colegas da Pós-Graduação em Ciências Florestais José Nailson, Carla Samara, Beto Perez, Célio Vasconcelos, Fabiana Estigarribia, Alciênia Albuquerque, Fernanda Galvão, Raianny Nayara, Marília Isabelle, Jéssica Stéfane, Valdemir Silva, Cristiane Salazar, Suellen Cristina, Joselane Priscila, Jordânia Xavier, Guera Mariel, Cintia Olivier, Maria Holanda, Najara Fontenele, Tamires Leal, Diego Silva, Tibério Alencar, Lyanne Alencar e Juan Marin e demais, pela troca de conhecimento e amizade.

Aos meus pais Alcione Castro e Euclides Barros, pelo amor, ensinamentos e apoio proporcionados e pelo exemplo de vida.

À minha avó Maria Rosa e meus tios, Silmar, Agostinho (*in memoriam*) e Alcimar; aos meus irmãos João, Fernanda, Lucas Eduardo, Glaubert e Vinicius, pelo apoio, carinho e incentivo para que eu pudesse continuar em frente e alcançar meus objetivos.

FONSÊCA, N. C. **ESTIMATIVA DE BIOMASSA E NECROMASSA LENHOSA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA TROPICAL ÚMIDA**. Orientadora: Ana Carolina Borges Lins e Silva. 2017. 83 p. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

RESUMO: As florestas tropicais destacam-se pela alta produtividade primária líquida, atuando como um verdadeiro reservatório de carbono. Apesar da importância, o conhecimento do estoque de biomassa e necromassa lenhosa em florestas fragmentadas e perturbadas ainda é um dos aspectos menos conhecidos pela impossibilidade do uso do método destrutivo em algumas tipologias florestais e pela incerteza quanto à utilização do método de amostragem eficiente e preciso. Diante do exposto e na busca por soluções para o problema em questão, o presente trabalho foi desenvolvido em dois capítulos: o primeiro (i) teve como objetivo geral determinar uma equação alométrica por meio de árvores mortas recém-caídas para estimar o estoque de biomassa arbórea acima do solo em um fragmento de floresta tropical e comparar com equações regionais e pantropicais disponíveis na literatura, já o segundo (ii) consistiu na comparação de metodologias para estimativa da necromassa lenhosa, a fim de obter o método mais prático, eficiente, e com resultados confiáveis. O estudo foi desenvolvido no Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI), localizado no perímetro urbano da cidade de Recife, estado de Pernambuco ($7^{\circ}57'40''$ S - $8^{\circ}00'52''$ S; $34^{\circ}56'23''$ W $34^{\circ}57'31''$ W). A coleta de dados foi realizada, em parcelas e trilhas permanentes instaladas no PEDI pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio). Para o capítulo (i) foram utilizadas quatro parcelas de 250 m de comprimento que estão alocadas na área madura do PEDI e 3000 m de trilhas. As parcelas e as trilhas foram amostradas a procura de árvores com $DAP \geq 5$ cm e com diferentes amplitudes diamétricas e de altura. Para a obtenção das equações foram ajustados nove modelos matemáticos (aritméticos e logaritmos). Para a seleção das melhores equações considerou-se os seguintes indicadores de qualidade dos modelos: estatística F, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$), e análise gráfica da distribuição dos resíduos. Como resultados temos que a equação de dupla entrada de Schumacher-Hall ($BAS = 1,5292 * DAP^{2,0601} * HT^{-0,2187}$), foi a que obteve o melhor ajuste, estimando uma biomassa de $177,8 \text{ Mg.ha}^{-1}$ para o PEDI. A utilização das árvores mortas recém-caídas mostrou eficiência na geração de equações, capazes de obter resultados confiáveis, com menor tempo em campo, baixo custo, sem, contudo, causar maiores problemas no que se refere à supressão das árvores. No que diz respeito às equações regionais e as pantropicais, estas não demonstraram bom desempenho na estimativa de biomassa, não sendo indicadas para serem aplicadas na floresta em estudo. No capítulo (ii) utilizou-se quatro parcelas permanentes (250 m x 40 m cada) instaladas no PEDI. Dentro de cada parcela, foram alocados cinco transectos de 50 m (Método da linha interceptadora-LIS) na parte superior, e cinco parcelas de 10 m x 10 m (Peças >10 cm diâmetro) e, dentro destas, sub-parcelas de 5 m x 5 m (Peças com diâmetro >2 cm e < 10 cm) (Método da área fixa-AF) na parte inferior. Os métodos de amostragem testados foram avaliados por meio de estatísticas descritivas e eficiência relativa de cada método. Como resultados verificamos que os métodos de amostragem testados não diferiram estatisticamente quanto à estimativa volumétrica e de necromassa lenhosa, porém o método LIS apresentou maior precisão e eficiência na estimativa do que o método AF. Além disso, o método exige menor intensidade amostral para atender ao erro amostral de 15%. O estoque total de necromassa estimado representa 15 % da matéria orgânica total acumulada sobre o solo no PEDI. A floresta em estudo mostra-se com alto percentual de necromassa lenhosa, o que pode ser explicado pela grande quantidade de árvores mortas encontradas no interior da floresta.

Palavras-chave: Estoque de carbono, fragmento florestal, matéria orgânica

FONSÊCA, N. C. **BIOMASS ESTIMATE AND ABOVE-GROUND WOODY NECROMASS IN TROPICAL RAINFOREST.** Supervisor: Ana Carolina Borges Lins e Silva. 2017. 83 p. Dissertation Masters in Forest Science) Post-Graduation Program in Forest Science, Federal Rural University of Pernambuco, Recife, 2017.

ABSTRACT: Tropical forests are characterized by high net primary productivity, acting as a true carbon reservoir. Despite its importance, the knowledge of biomass and woody necromass stock in fragmented and disturbed forests is still one of the least known aspects due to the impossibility of using the destructive method in some forest typologies and the uncertainty regarding the use of efficient and precise sampling methods. In view of the above and in search for solutions to the problem in question, the present work was developed in two chapters: the first (i) aim was to determine an allometric equation through fallen dead trees to estimate the above-ground biomass stock in a tropical forest fragment and compare with regional and pantropical equations available in the literature, and second (ii) consisted in the comparison of methodologies for estimation of woody necromass, in order to obtain the most practical, efficient, method with reliable results. The study was developed in Dois Irmãos State Park (PEDI), located in the urban perimeter of the city of Recife, state of Pernambuco (8°7'30"S, 34°52'30"W). Data collection was carried out in permanent plots and trails installed at PEDI by the Biodiversity Research Program (PPBio). For chapter (i) four plots of 250 m in length were used that are allocated in the mature PEDI area and 3000 m of trails. The plots and trails were sampled in search of trees with $DBH \geq 5$ cm, with different diameter and height amplitudes. In order to obtain the equations, nine mathematical models (arithmetic and logarithmic) were fitted. For the selection of the best equations the following quality indicators of the models: F statistics, adjusted determination coefficient (R^2_{aj}), standard error of the estimate in percentage ($S_{yx}\%$), and graphical analysis of the residual distribution. As a result, we find that the Schumacher-Hall double input equation ($BAS = 1.5292 * DAP^{2.0601} * HT^{-0.2187}$) was the one that obtained the best fit, estimating a biomass of 177, 8 $Mg \cdot ha^{-1}$ for the PEDI. The use of the newly fallen dead trees has shown to be efficient in the generation of equations, capable of obtaining reliable results, with less time in the field, at low cost, without, however, causing greater problems with regard to tree suppression. Regarding the regional and pantropical equations, these did not show good performance in the estimation of biomass and were not indicated to be applied in the forest under study. In chapter (ii), four permanent plots (250 m x 40 m each) were installed in PEDI. Within each plot, five 50 m transects (intercept line method- LIS) were placed in the upper part, and five 10 m x 10 m plots (Pieces > 10 cm diameter) and, within these, 5 m x 5m subplots (Pieces with diameter > 2 cm and < 10 cm) (fixed area method-AF) on the bottom. The sampling methods tested were evaluated through descriptive statistics and relative efficiency of each method. As a result, we find that, the sampling methods tested did not differ statistically in relation to the volumetric and woody necromass estimation, but the method LIS presented higher accuracy and efficiency in the estimation than the method AF. In addition, the method requires a lower sampling intensity to meet the sampling error of 15%. The total estimated necromass stock represents 15 % of the total organic matter accumulated on the soil in PEDI. The studied forest shows a high percentage of arboreal necromass, which can be explained by the large number of dead trees found inside the forest.

Keywords: Carbon stock, forest fragment, organic matter

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A FUNÇÃO DAS FLORESTAS TROPICAIS, EM ESPECIAL DA MATA ATLÂNTICA	16
2.2	MATÉRIA ORGÂNICA VEGETAL ACIMA DO SOLO.....	18
2.3	MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE BIOMASSA E NECROMASSA LENHOSA ACIMA DO SOLO.....	20
2.3.1	Biomassa arbórea	20
2.3.2	Necromassa lenhosa	21

CAPÍTULO I: ESTIMATIVA DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UMA FLORESTA AMEAÇADA: O QUE FAZER QUANDO O MÉTODO DIRETO É LEGALMENTE IMPEDIDO E AS EQUAÇÕES DISPONÍVEIS SÃO INEFICIENTES?

1	INTRODUÇÃO	25
2	MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1	LOCAL DE ESTUDO.....	27
2.2	COLETA DE DADOS	28
2.3	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DAS ÁRVORES MORTAS RECÉM-CAÍDAS.....	30
3	ANÁLISE DOS DADOS	31
3.1	ANÁLISE DESCRITIVA	31
3.2	AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA ARBÓREA ACIMA DO SOLO (BAS)	32
3.3	SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO E COMPARAÇÃO COM EQUAÇÕES REGIONAIS E PANTROPICAIS.....	34
4	RESULTADOS	36
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	36
4.2	EQUAÇÕES PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA ACIMA DO SOLO (BAS).....	37
4.3	DESEMPENHO DAS EQUAÇÕES REGIONAIS E PANTROPICAIS NA ESTIMATIVA DA BIOMASSA ARBÓREA	41
5	DISCUSSÃO	43
6	CONCLUSÕES	45

CAPÍTULO II: PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE MÉTODOS NA ESTIMATIVA DE NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA TROPICAL ÚMIDA

1	INTRODUÇÃO	48
2	MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1	ÁREA DE ESTUDO	50
2.2	TIPOLOGIA FLORESTAL, CLIMA E SOLO	50
2.3	MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E COLETAS DE DADOS	51
2.4	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA MORTA	53
2.5	ESTIMATIVA DO ESTOQUE VOLUMÉTRICO DE MADEIRA MORTA CAÍDA	54
2.5.1	Método LIS (amostragem por linha interceptadora)	54
2.5.2	Método AF (parcela de área fixa)	55
2.6	CÁLCULO DA NECROMASSA PARA OS DIFERENTES MÉTODOS DE AMOSTRAGEM	56
3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	PEÇAS PEQUENAS	58
4.1.1	Grau de decomposição das peças de madeira morta caída	59
4.1.2	Densidade básica da madeira morta caída	60
4.1.3	Estoque de necromassa lenhosa caída	61
4.2	PEÇAS GRANDES	62
4.2.1	Grau de decomposição das peças de madeira morta caída	63
4.2.2	Necromassa lenhosa caída	64
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM (LIS <i>VERSUS</i> AF)	65
5	CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: ESTIMATIVA DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UMA FLORESTA AMEAÇADA: O QUE FAZER QUANDO O MÉTODO DIRETO É LEGALMENTE IMPEDIDO E AS EQUAÇÕES DISPONÍVEIS SÃO INEFICIENTES?

Figura	Página
1. Área de estudo, Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI), Pernambuco, Brasil, com indicação (em vermelho) do transecto de linha utilizado para amostragem de árvores mortas recém-caídas para avaliação da biomassa arbórea acima do solo (BAS).....	28
2. Figura representativa da parcela no método RAPELD, seguindo a curva de nível do terreno, com 25 segmentos retos de 10 metros de comprimento cada.	29
3. Cubagem rigorosa das árvores mortas recém-caídas: A) árvores mortas recém-caídas; B) medição do diâmetro a altura do peito, a 1,30 m; C) medições em várias seções ao longo do fuste (Autor: FONSÊCA, N.C.) D) esquema de cubagem rigorosa de Smalian (Autor: Embrapa-Amazônia Oriental).	30
4. Matriz de correlação entre as variáveis dependentes e independentes utilizadas no ajuste dos modelos; ns = não significativo; * = significativo. Na diagonal inferior, cores mais escuras representa maior correlação das variáveis.	37
5. Distribuição gráfica de resíduos (%) para equações geradas para estimativa de biomassa acima do solo de árvores mortas caídas na Mata Atlântica, Parque Estadual de Dois Irmãos, Nordeste do Brasil.	38
6. Diagrama de dispersão, correlação de Pearson (r) e Teste “t” de Student a 5% de significância, para as equações V e IX; *significativo; ns=não significativo.	40
7. Diagrama de dispersão, correlação de Pearson (r) e teste “t” de Student ($p \geq 0,05$), para comparação das equações selecionadas na literatura,*significativo; ns=não significativo.	41
8. Estimativas de biomassa acima do solo para 37 árvores na Mata Atlântica, Parque Estadual de Dois Irmãos, utilizando seis equações disponíveis (EQ I a VI) versus equação local.	42

CAPÍTULO II: PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE MÉTODOS NA ESTIMATIVA DE NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA TROPICAL ÚMIDA

1. Croqui demonstrativo dos transectos e das parcelas alocadas na área de estudo, Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, PE.....	51
2. Classificação tátil-visual das peças de madeira em três graus de decomposição: A) peças recém caídas, B) peças com leve sinal de decomposição, C) peças em estágio avançado de decomposição (Autor: FONSÊCA, N.C.).....	52
3. Esquema de inclusas ou não das peças na mensuração: A) peça inclusa, B) peça não inclusa, C) peça inclusa.	54
4. Volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$) por classes de diâmetro para os distintos métodos. A) LIS = amostragem por linha interceptora B) AF = amostragem por parcela de área fixa.	59
5. Grau de decomposição (GD) por classes de diâmetro para os distintos métodos. A) LIS= amostragem por linha interceptora B) AF = amostragem por parcela de área fixa.....	60
6. Estoque volumétrico ($m^3 \cdot ha^{-1}$) por classes de diâmetro, A) LIS = amostragem por linha interceptora B) AF = amostragem por parcela de área fixa.....	63

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: ESTIMATIVA DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UMA FLORESTA AMEAÇADA: O QUE FAZER QUANDO O MÉTODO DIRETO É LEGALMENTE IMPEDIDO E AS EQUAÇÕES DISPONÍVEIS SÃO INEFICIENTES?

Tabela	Página
1. Modelos volumétricos adaptados para estimativa de biomassa a partir dos dados coletados em árvores mortas caídas no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, Pernambuco.....	32
2. Equações alométricas selecionadas para estimativas de biomassa acima do solo na área de estudo (Parque Estadual de Dois Irmãos) na Mata Atlântica, Nordeste do Brasil.	35
3. Distribuição das 37 árvores mortas recém-caídas amostradas no local de estudo, Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, PE, por classes de diâmetro e de altura.....	36
4. Estatística descritiva para as variáveis das 37 árvores amostradas no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, Pernambuco	36
5. Parâmetros e estatísticas dos modelos ajustados para fins de seleção da melhor equação para estimativa de biomassa arbórea total, Parque Estadual de Dois Irmãos, Nordeste do Brasil.....	37

CAPÍTULO II: PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE MÉTODOS NA ESTIMATIVA DE NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA TROPICAL ÚMIDA

1. Grau de decomposição utilizado para classificar madeira morta caída.....	52
2. Métodos de amostragem e nível de inclusão das peças de madeira para fins de comparação, para estimativas de necromassa no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, PE.	57
3. Estatística descritiva para análise dos métodos de amostragem para estimativa da necromassa lenhosa no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, PE.....	57
4. Densidade básica média da madeira morta para os diferentes graus de decomposição mensurados na floresta	61
5. Estatísticas de comparação para os métodos de amostragem em linha interceptora (LIS) e de área fixa (AF) para a floresta em estudo.....	65
6. Intensidade amostral estimada para um limite de erro de 15% para os dois métodos de amostragem analisada no Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI).....	66
7. Eficiência relativa para comparação dos métodos de amostragem em linha interceptora (LIS) e de área fixa (AF)	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF: Método de Área fixa
Árv: Árvore
BAS: Biomassa arbórea acima do solo
 $\beta_0, \beta_1, \beta_n$: coeficientes de regressão
C: Carbono
CAP: Circunferência à altura do peito
CH₄: Metano
CO₂: Gás carbônico
CV: Coeficiente de variação
DAP: Diâmetro à altura do peito
D_b: Densidade básica
DBM: Densidade básica da madeira
ER: Eficiência relativa
GD: Grau de decomposição
GEE: Gases de efeito estufa
Gt: Gigatonelada
HT: Altura total
IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LEVE: Laboratório de Ecologia Vegetal
LIS: Método da linha interceptora
Ln: Logaritmo neperiano
N₂O: Óxido nitroso
NBR: Norma Brasileira
Necr: Necromassa
ns: não significativo;
PEDI: Parque Estadual de Dois Irmãos
PEFI: Parque Estadual Fontes do Ipiranga
PPBio: Programa de pesquisa em Biodiversidade
R²_{aj} : Coeficiente de determinação ajustado
RAPELD: RAP (inventários rápidos) e PELD (pesquisas ecológicas de longa duração)
SW: Shapiro-Wilk
S_{yx}(%): Erro padrão da estimativa em percentagem
V_{est} : Volume estimado
Vol: Volume
* : significativo
Ø: Diâmetro

1 INTRODUÇÃO GERAL

Diariamente, grande quantidade de gás carbônico (CO₂) é lançada na atmosfera, originária principalmente da queima de combustíveis fósseis e de alterações no uso da terra. O aumento excessivo desse gás pode alterar radicalmente as condições climáticas, intensificando ou alterando a frequência de eventos extremos como inundações, enchentes, secas, tornados, ciclones, e, conseqüentemente, as condições de vida no planeta (STOCKER et al., 2013). É consenso que estratégias devam ser estudadas e empregadas para redução da concentração de CO₂ atmosférico, na tentativa de minimizar os riscos dessas alterações (SILVEIRA et al., 2007). Entre essas estratégias, destaca-se o “sequestro” de carbono pelas florestas naturais, estocado tanto na biomassa (matéria viva) como na necromassa (matéria morta), nas quais representam mais carbono do que atualmente existe na atmosfera (SOLOMON et al., 2007).

As florestas cobrem cerca de 30% da superfície da terra e fixam mais de 650 gigatoneladas (Gt) de carbono, sendo 44% na biomassa, 11% na necromassa e 45% no solo (FAO, 2010). No entanto, a supressão visando à prática de agricultura, pastagens, ocupação humana e também a exploração florestal de forma não sustentável (FEARNSIDE, 2013; SOARES FILHO et al., 2005) tem provocado a redução e fragmentação dessas florestas. Conseqüentemente, ocorre a diminuição do estoque de biomassa e necromassa, contribuindo com cerca de 20% do aumento na concentração atmosférica do CO₂ (HOUGHTON; HACKLER, 2006; RAMANKUTTY et al., 2007).

Torna-se, assim, de relevância a produção de conhecimento científico que possibilite avaliar o potencial das florestas tropicais quanto à capacidade de estoque de matéria orgânica, para guiar o monitoramento dessas florestas quanto ao controle do CO₂ atmosférico. Desse modo, surge à necessidade da utilização de metodologias que permitam determinar de forma fidedigna o estoque de biomassa e necromassa, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado pelas florestas (SANQUETTA, 2002).

A quantificação da biomassa florestal pode ser proveniente de duas metodologias distintas. O método destrutivo ou direto, o qual consiste em abater um número significativo de árvores em uma área, determinando a biomassa por meio do peso direto de cada um dos componentes (fuste, galhos e folhas) e extrapolação dos resultados para a área total (LOSI et al., 2003); e o método não destrutivo ou indireto, que emprega equações alométricas, sem necessidade de abate das árvores, correlacionando a biomassa com variáveis possíveis de serem mensuradas em campo, como por exemplo o diâmetro à altura do peito (DAP), altura

total (HT) e densidade básica da madeira (DBM) (SOMOGYI et al., 2006; FERRAZ et al., 2014).

Nas florestas tropicais, estudos de biomassa ainda não abrangem todas as tipologias florestais (PEARSON; BROWN, 2005; PICARD; SANT-ANDRÉ; HENRY, 2012; CHAVE et al., 2014), devido à grande heterogeneidade da vegetação, existência de áreas com diferentes idades e níveis de degradação e, principalmente pela impossibilidade da supressão das árvores, por questões técnicas e legais, fazendo-se necessária a utilização frequente do método indireto para estimar a biomassa florestal (WATZLAWICK et al., 2012). O emprego das equações, entretanto, carece de uma melhor calibração em diferentes tipologias florestais, para o conhecimento da biomassa acima do solo. O compartimento necromassa, numericamente menos considerado nos trabalhos já realizados, pode levar também a subestimativas do estoque total de carbono nos ecossistemas florestais (WATZLAWICK et al., 2012; TORRES et al., 2013; DINIZ et al., 2015).

Para melhorar as estimativas da matéria orgânica arbórea acima do solo, em áreas de florestas tropicais fragmentadas e perturbadas, como é o caso da Mata Atlântica (RIBEIRO et al., 2009), faz-se necessário o ajuste dos modelos matemáticos disponíveis para gerar equações alométricas precisas e acuradas, que permitam medição e quantificação de maneira confiável e a baixo custo. Além disso, deve-se incluir o estoque de necromassa, possibilitando conhecer o potencial da matéria orgânica acumulada, além de contribuir com informações decisivas para a criação de programas de conservação e manejo de remanescentes florestais.

Nesse contexto, o presente trabalho foi desenvolvido em capítulos: o primeiro **(i)** teve como objetivo geral determinar uma equação alométrica precisa e acurada por meio de árvores mortas recém-caídas para estimar o estoque de biomassa arbórea acima do solo em um fragmento de floresta tropical e comparar com equações regionais e pantropicais disponíveis na literatura; e o segundo **(ii)** consistiu na comparação de metodologias para estimativa da necromassa lenhosa acima do solo, a fim de obter o método mais prático, eficiente, de menor custo e com resultados confiáveis.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A FUNÇÃO DAS FLORESTAS TROPICAIS, EM ESPECIAL DA MATA ATLÂNTICA

A supressão das florestas naturais, o uso inadequado da terra, a queima de combustíveis fósseis e outras atividades humanas têm gerado grandes problemas e preocupações ambientais, visto que estas práticas são as principais fontes de emissão de gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), mais conhecidos como gases de efeito estufa (GEE) (HOUGHTON, 1991; FEARNSTIDE, 2000). De acordo com o quinto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o desmatamento e a degradação das florestas formaram a segunda maior fonte de emissões de CO_2 em 2013, sendo responsáveis por cerca de 10% das emissões de GEE do mundo (IPCC, 2015).

O efeito estufa é o processo natural pelo qual a energia solar de comprimento de onda curto ultrapassa a atmosfera terrestre sem interação com os GEE's presentes nessa camada. Ao atingir a superfície terrestre, a energia é convertida e volta para a atmosfera com um comprimento de onda mais longo (infravermelho), que interage parcialmente com os GEE (CARVALHO, 2010). Parte dessa irradiação é absorvida na atmosfera, aquecendo-a em aproximadamente 30°C , o que é de vital importância na estabilização da temperatura, mantendo a vida na Terra (CARVALHO, 2010).

Se, por um lado, o efeito estufa é benéfico, por outro o aumento excessivo de seus gases na atmosfera, especialmente o CO_2 , acaba formando uma barreira que dificulta a liberação da energia irradiada pela superfície da terra, provocando o que chamamos de aquecimento global. Dentre suas consequências, destaca-se o derretimento de geleiras, aumento do nível dos oceanos e alterações drásticas na sazonalidade e intensidade da precipitação, contribuindo para intensificar processos de desertificação e degradação ambiental (IPCC, 2007).

Lal (2008) destaca que são necessárias estratégias para mitigar o aquecimento global, e que estas devem se basear em diminuir as emissões dos GEE's e aumentar sua remoção. Uma das principais alternativas seria a retirada de parte do CO_2 da atmosfera, o que é chamado de sequestro de carbono (CONFERÊNCIA DE QUIOTO, 1997). Este processo pode ser desempenhado pela atividade florestal, por meio da retirada de CO_2 da atmosfera pela

fotossíntese, sendo usado no crescimento e metabolismo e estocado na matéria orgânica vegetal.

As florestas tropicais são de grande importância neste processo, por serem as maiores acumuladoras de matéria orgânica do planeta, tendo em vista seu potencial em absorver continuamente dióxido de carbono da atmosfera e depositar na biosfera, o que contribui com diminuição dos efeitos das mudanças climáticas (SILVEIRA et al., 2007; PENNE et al., 2010).

O Brasil se destaca na contribuição para a manutenção do clima em escala planetária, visto que o país abriga 1/3 das florestas tropicais do mundo. Dentre estas florestas, destaca-se a Mata atlântica, por ser um dos 35 *hotspots* mundiais para conservação da biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2011) e, adicionalmente, ser a segunda maior floresta tropical pluvial do continente americano, com grande riqueza florística e alto potencial para estoque de matéria orgânica e carbono (MYERS et al., 2000). Esta floresta é composta por diferentes tipos de formações vegetais, que se distribuíam por uma longa faixa latitudinal ao longo da costa brasileira, desde o município Cabo de São Roque, Rio Grande do Norte ao município Osório, Rio Grande do Sul, e possuía uma área de aproximadamente 1.400.000 km², cobrindo 15% do território nacional (VIEIRA, et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009; TABARELLI et al., 2010).

Porém, as diversas pressões antrópicas exercidas sobre os inúmeros ecossistemas da mata atlântica colocaram-na como uma das mais ameaçadas florestas do mundo (STEHMANN et al., 2009; RIBEIRO et al., 2009). De acordo com relatos históricos, a devastação da floresta atlântica teve início quando os colonizadores chegaram ao Brasil, por meio da supressão da cobertura florestal para ocupação humana, plantio e retirada de madeira para comercialização (GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2005).

As florestas que ainda resistem às diversas ações antrópicas apresentam uma complexa estrutura e composição florística, refletindo a diversidade de características geológicas, climáticas, geomorfológicas, pedológicas, hidrográficas e também históricas. Isso faz com que o bioma ainda seja caracterizado com alta diversidade de espécies tanto da fauna como da flora, alto grau de espécies endêmicas e com um alto potencial para acumular matéria orgânica e, conseqüentemente, fixação de CO₂ da atmosfera (BURGER; DELITTI, 2008; PINTO; BRITO, 2005).

Nas últimas três décadas, a perda da cobertura florestal e a fragmentação de habitats alteraram a maior parte da floresta atlântica (PINTO; BRITO, 2005). O bioma está representado por cerca de 11% de sua área original, em remanescentes florestais espalhados

em uma matriz que certamente é prejudicial à sobrevivência das espécies em longo prazo (SILVA; ANDRADE, 2005; RIBEIRO et al., 2009). Além disso, a distribuição espacial e a porcentagem de remanescentes apresentam grande variação nas diferentes regiões do bioma (RIBEIRO et al., 2009).

Esta fragmentação e diminuição drástica estão relacionadas com o fato de que a Mata Atlântica abrange 17 estados da costa brasileira, abrigando aproximadamente 70% da sua população, um contingente populacional que depende dos recursos naturais disponibilizados pelo bioma, como abastecimento de água, fertilidade do solo, regulação do clima e outros serviços ambientais (GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2005).

A análise de dados espaciais (INPE, 2014) revelou que, dentre todos os estados brasileiros acima do Rio São Francisco, o estado de Pernambuco é, atualmente, onde acontece maior remoção da floresta atlântica, fazendo com que os remanescentes que ainda resistem sejam numerosos e pequenos, sendo a maior parte que 1.000 hectares (SILVA; ANDRADE, 2005).

Entre os efeitos da redução florestal estão o aumento da mortalidade de indivíduos de espécies arbóreas de grande porte e a redução da densidade de plantas, podendo diminuir significativamente a matéria orgânica estocada nos fragmentos e aumentar a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera (LAURANCE, 2008; LOPES et al., 2009) afetando o sistema climático global significativamente (HOUGHTON et al., 2001; SOARES-FILHO, 2006).

2.2 MATÉRIA ORGÂNICA VEGETAL ACIMA DO SOLO

A matéria orgânica vegetal pode ser estocada em diferentes compartimentos dentro de uma floresta, sendo esta dividida em duas partes, material vivo ou biomassa (tronco, galhos, raízes, cascas, sementes e folhagens) e morta ou necromassa (serapilheira, galhos e troncos caídos, raízes e árvore morta caída ou em pé) acima e abaixo do solo (HIGAR et al., 2014). Seu estoque e passagem por estes compartimentos constituem excelentes indicadores para caracterizar os serviços ecossistêmicos desempenhados por um ambiente (VITAL et al., 2004), podendo expressar o potencial de acumulação de energia e nutrientes pela biota em interação com fatores ambientais, além de servir para elucidar alguns aspectos do crescimento e da produtividade. Desta forma, constitui-se em uma variável relevante para a análise e monitoramento dos ecossistemas, bem como para avaliação de impactos, análise de estágios de sucessão e avaliação da capacidade de produção primária (BURGER; DELITTI, 2008).

Atualmente, a quantificação do estoque da matéria orgânica tornou-se ainda mais urgente devido à sua contribuição aos estudos de mudanças climáticas globais, uma vez que, por meio desses compartimentos, é que se conhece o quanto de CO₂ a floresta está acumulando e liberando para o solo e para a atmosfera (PALACE et al., 2008; PALACE et al., 2012).

No Brasil, estudos que quantifiquem o estoque da matéria orgânica nos biomas são cada vez mais relevantes, devido à grande extensão territorial e mosaicos diversificados de ecossistemas, em função de diferenças no solo, relevo e características climáticas. Os ecossistemas continentais brasileiros têm papel significativo no balanço global de carbono, respondendo por 4 a 5% da emissão total de carbono para a atmosfera (SCHROEDER; WINJUM, 1995).

No entanto, a quantificação da matéria orgânica depende da viabilização prática, por meio de métodos que permitam estimar de forma confiável e precisa o estoque de biomassa. Além disso, somente a determinação da biomassa viva não é suficiente para obter o estoque total de carbono nos ecossistemas florestais, sendo essencial uma estimativa dos diferentes compartimentos existentes nestes ecossistemas (SIERRA et al., 2007). A madeira morta ou necromassa é um importante componente do estoque de carbono, podendo representar uma fração significativa do estoque total (CHAMBERS et al., 2000; CLARK et al., 2002) fato que reforça a necessidade de inclusão deste aspecto nos levantamentos e inventários florestais.

Estes detritos vegetais, tais como árvores caídas, galhos mortos e parte de troncos encontrados em solo florestal, proveem extensivos benefícios ecológicos, tanto estruturais quanto funcionais, tendo papel fundamental na manutenção dos teores de matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes no solo, servindo de habitat e alimento para diversas formas de vida e ajudando na prevenção da erosão do solo, já que colabora com o desenvolvimento da cobertura vegetal superficial (WADDELL, 2002; WOLDENDORP et al., 2004).

Estimativas apontam que a necromassa pode representar de 20 a 40% do carbono total estocado em florestas tropicais e contribui com 12% da respiração total acima do solo nestes ambientes, tendo grande influência na manutenção do clima. Adicionalmente, desempenha ainda papel de substrato para germinação e crescimento de espécies vegetais e como fonte de energia e nutrientes ao longo prazo, pois imobiliza esses nutrientes à decomposição (HARMON et al., 1986).

2.3 MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE BIOMASSA E NECROMASSA LENHOSA ACIMA DO SOLO

2.3.1 Biomassa arbórea

Atualmente, as metodologias usadas para estimar a biomassa em florestas tropicais são baseadas, principalmente, em dados de inventário florestal, empregando-se do método direto (destrutivo) e indireto (não destrutivo) (HIGUCHI; CARVALHO JÚNIOR, 1994; SOMOGYI et al., 2006).

O método direto consiste na pesagem direta de todos os componentes na floresta (técnica gravimétrica) ou com a determinação do volume e densidade da madeira (técnica volumétrica), normalmente por processo destrutivo (NICOLETTI; SILVA; FLORIANI, 2015). Na literatura científica são disponibilizadas diferentes técnicas relacionadas à estimativa de biomassa envolvendo o método destrutivo (FERRAZ et al., 2014). Dentre essas, destacam-se o método da árvore individual ou média, a técnica do corte estratificado e o método da parcela (SILVEIRA et al., 2007).

O método da árvore individual é feito mediante a seleção de uma árvore média, sendo que, para se conhecer essa árvore, é preciso realizar um inventário florestal piloto e calcular o diâmetro ou a área seccional ou transversal dessa árvore (SANQUETTA, 2002). A técnica do corte estratificado consiste na execução do corte raso em um pequeno ponto amostral no interior da floresta a ser estudada, dividindo-se a parte de cima do solo em 10 ou mais estratos paralelos à superfície do solo. Todas as árvores dentro do ponto são cortadas em partes dentro do respectivo estrato, e as folhas, ramos e caules pertencentes a cada estrato são pesados separadamente (OGAWA; KIRA, 1977; SILVEIRA et al., 2007). O método da parcela é feito cortando-se e pesando-se toda a biomassa de uma área pré-definida, podendo ser implementado pelo procedimento denominado corte total, que consiste em se determinar toda a biomassa da floresta pelo corte e pesagem de todas as frações das árvores.

A quantificação da biomassa florestal utilizando essas distintas técnicas é considerada a mais segura por apresentar resultados reais. Todavia, é um trabalho extremamente pesado e difícil. De acordo com Silveira et al. (2007), esses trabalhos são inviáveis para estimar a biomassa em grandes áreas, devido ao alto custo e por que boa parte das áreas escolhidas para execução dos estudos estão protegidas por leis ambientais, sendo usado o método indireto ou não destrutivo como alternativa.

O método indireto consiste no emprego de equações alométricas, que relacionam a biomassa com variáveis possíveis de serem obtidas em campo (por exemplo, diâmetro e

altura), sem necessidade de abate das árvores. Este método tem sido o mais empregado para o estudo da biomassa na atualidade em florestas tropicais (SILVA et al., 2015). Em condições de alta fragmentação e perturbação, devido principalmente às restrições quanto à supressão das árvores, o método indireto permite a determinação da biomassa arbórea com facilidade e baixo custo, quando comparado com o método direto. Contudo, estimar a biomassa florestal utilizando o método indireto pode levar à superestimativa ou subestimativa da biomassa, principalmente quando não se utilizam equações adequadas para a tipologia florestal em estudo.

Estudos têm sido realizados com o propósito de obter equações que possam estimar com precisão a biomassa florestal para as diversas tipologias florestais existentes (CHAVE et al., 2004; PEARSON; BROWN, 2005; CHAVE et al., 2014). Essas novas equações foram geradas por meio de um amplo banco de dados que teve a colaboração de muitos pesquisadores em todo o mundo e com isso foi possível gerar as equações conhecidas como pantropicais.

Contudo, mesmo com todo esforço amostral, os estudos ainda apresentam lacunas, como a falta de amostras das florestas tropicais da costa atlântica brasileira. Por isso, a busca por uma equação mais robusta que possa estimar com segurança a biomassa florestal também nessa região e em diversas outras regiões fomenta o avanço nos estudos.

2.3.2 Necromassa lenhosa

Na floresta, a necromassa pode ser dividida em duas categorias: (I) árvores mortas em pé e (II) material vegetal morto sobre o solo (HARMON; SEXTON, 1996). Esta última categoria ainda pode ser dividida em duas subcategorias: (I.i) liteira fina ou serapilheira - folhas, gravetos e galhos finos com diâmetro < 2 cm e (I.ii) liteira grossa - galhos e troncos com diâmetro ≥ 2 cm (PAULETTO, 2006).

A quantificação da necromassa iniciou-se com estudos sobre incêndios florestais, nos quais tornou-se peça chave para gestores procederem a avaliação do material combustível da área e determinar, assim, um correto plano de controle de fogo, além de estimar o uso potencial desses resíduos, podendo agregar uma maior receita no final da rotação com a venda e utilização da madeira caída (CORROW, 2007; WOODALL et al., 2008; MIEHS et al., 2010).

Woodall et al. (2009) afirmaram que somente 13% dos países realizam inventários florestais de necromassa, nos quais os métodos de amostragem não convergem a um senso

comum, além dos trabalhos serem realizados com uma baixa intensidade amostral. Alguns inventários florestais realizados em diferentes locais do mundo utilizaram o método de amostragem por interceptação em linha (*Line Intercept Sampling* - LIS) como sendo o método de amostragem mais apropriado para quantificação de resíduos florestais. Palace et al. (2012), ao realizarem uma revisão bibliográfica sobre as metodologias utilizadas para estimar a necromassa acima do solo em florestas tropicais, observaram o emprego de dois métodos de amostragem, o método de parcelas de área fixa (AF) e o método LIS.

No método da área fixa, a seleção dos indivíduos é feita proporcionalmente à área da unidade ou parcela, sendo mensurado o comprimento e o diâmetro central ou das extremidades das peças de madeira (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008); outro método é a medição do diâmetro a cada metro ao longo do fuste (EATON; LAWRENCE, 2006). A metodologia de medição dos diâmetros da peça irá depender da fórmula utilizada para estimativa do volume (MAAS, 2015). As variações da forma e tamanho das unidades amostrais constituem as variáveis fundamentais para avaliação de sua aplicação prática (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997), podendo ser quadráticas, retangulares ou de raio fixo (WOODALL et al., 2009).

O método LIS, descrito por Warren e Olsen (1964), consiste em contar o número das peças de madeira que interceptam uma linha pré-estabelecida, bem como medir a circunferência mínima pré-definida, e podendo também ser medido o comprimento destes materiais (PALACE et al., 2008). Este método tem como objetivo principal demonstrar as variações da madeira morta ao longo da área e estimar seu estoque de maneira mais precisa possível e com menor custo comparado ao método da área fixa.

CAPÍTULO I

ESTIMATIVA DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UMA FLORESTA AMEAÇADA: O QUE FAZER QUANDO O MÉTODO DIRETO É LEGALMENTE IMPEDIDO E AS EQUAÇÕES DISPONÍVEIS SÃO INEFICIENTES?

FONSÊCA, N. C. **Estimativa da biomassa acima do solo em uma floresta ameaçada: o que fazer quando o método direto é legalmente impedido e as equações disponíveis são ineficientes?** Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Borges Lins e Silva. Coorientadora: Dr^a Isabelle Maria Jacqueline Meunier.

RESUMO: O potencial das florestas tropicais para o armazenamento de biomassa acima do solo (BAS) é de grande importância para a agenda ambiental global. No entanto, estimar BAS é muitas vezes um desafio. Os custos elevados e as restrições legais envolvidas na avaliação direta tornam o uso de equações alométricas gerais uma escolha frequente. No entanto, em florestas fragmentadas, ameaçadas e de baixa densidade, tais equações podem não ser adequadas. A pesquisa teve por objetivo propor um novo método para as estimativas de biomassa arbórea - o método da Árvore Morta Caída-AMC e responder às seguintes perguntas: **(i)** o ajuste de modelos alométricos utilizando árvores mortas recém-caídas fornece equações precisas e acuradas para estimar a biomassa arbórea acima do solo em florestas tropicais fragmentadas e ameaçadas? **(ii)** equações alométricas regionais ou pantropicais fornecem boas estimativas de biomassa arbórea para florestas tropicais ameaçadas e de baixa densidade? O estudo foi realizado no Parque Estadual de Dois Irmãos (7°57'40"S - 8°00'52"S; 34°56'23"W - 34°57'31"W). Ao longo de 4000 m de trilhas e parcelas utilizadas como transectos (em um módulo RAPELD), foram amostradas 37 árvores mortas caída (AMC) com DAP \geq 5 cm, cobrindo diferentes amplitudes diamétricas (7,6 a 92,3 cm) e de altura (8,6 a 29,4 m). Nove modelos matemáticos foram ajustados com as seguintes variáveis independentes: DAP, altura total (HT) e densidade básica de madeira (DBM). Uma equação foi selecionada como equação local, com base nos indicadores de qualidade: estatística F, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$) e análise gráfica dos resíduos. Foi comparada a BAS estimada aplicando a equação local *versus* seis equações regionais e pantropicais disponíveis. Todas as seis subestimaram a BAS na área. A equação local estimou uma biomassa de 177,8 Mg.ha⁻¹ para o PEDI. A pesquisa atinge o objetivo de definir um método de curta duração e de baixo custo, indicado como uma opção quando as equações gerais dão números subestimados e/ou existem restrições legais para as avaliações diretas. Esta abordagem permite boas estimativas de biomassa e carbono, facilmente obtidas e prontamente aplicáveis a questões contemporâneas, como monitoramento ambiental, mudanças no funcionamento e serviços do ecossistema e, finalmente, contribuir para a conservação das florestas e o entendimento da estimativa de sequestro de carbono pelas florestas litorâneas.

Palavras chave: Árvore morta caída, avaliação indireta, equações pantropicais, floresta tropical, método-AMC

CHAPTER I

ESTIMATING ABOVE GROUND BIOMASS IN A THREATENED FOREST: HOW TO DEAL WITH POOR ESTIMATES OF AVAILABLE EQUATIONS AND PROHIBITED LOGGING FOR DIRECT ASSESSMENT?

FONSÊCA, N. C. **Estimating above ground biomass in a threatened forest: how to deal with poor estimates of available equations and prohibited logging for direct assessment?**

Supervisor: Prof^ª. Dr^ª. Ana Carolina Borges Lins e Silva. Comit e: Dr.^a Isabelle Maria Jacqueline Meunier.

ABSTRACT: The potential of tropical forests for above ground biomass (AGB) storage is of great importance to the global environmental agenda. However, estimating AGB is often a challenge. High costs and legal restrictions involved on direct assessment make the use of allometric general equations a frequent choice. However, in threatened low-density fragmented forests, such equations may not be adequate. The research aims at proposing a new method for AGB estimates – the Dead Fallen Tree – DFT method and to answer the following questions: (i) the adjustment of allometric models based on recent dead fallen trees provides precise and accurate equations for AGB estimates in a tropical threatened fragmented forest? (ii) pantropical or regional allometric equations provide good estimates of tree AGB for a threatened low-density forest? The study was carried out in the Parque Estadual de Dois Irmãos, Northeastern Brazil (7°57'40"S - 8°00'52" S; 34°56'23"W - 34°57'31"W). Along 4000 m used as transects (in a RAPELD module), we sampled 37 recent dead fallen trees (DFT) with DBH ≥ 5 cm, covering different diametric (from 7.6 to 92.3 cm) and height (from 8.6 to 29.4 m) amplitudes. Nine mathematical models were fit with the following independent variables: DBH, total height and wood basic density. One equation was selected as a local equation, based on the quality indicators: F statistic, adjusted determination coefficient (R^2_{adj}), standard error of the percentage estimate ($S_{yx}\%$), and graphical analysis of the residuals. We compared estimated AGB applying the local equation *versus* six regional and pantropical available equations. All six underestimated tree AGB in the area. Local equation estimated a biomass of 177.8 Mg.ha⁻¹ for the PEDI. The research hits the target of defining a short-time consuming and low-cost method, indicated as an option when general equations give underestimated numbers and/ or there are legal restrictions to direct assessments. This approach enables good biomass and Carbon estimates, easily obtainable and readily applicable to contemporary issues, such as environmental monitoring, changes in ecosystem functioning and services and, finally, contributing to the conservation of forests and understanding the estimated carbon sequestration by coastal forests.

Keywords: Dead fallen tree, indirect assessment, pantropical equations; Atlantic Forest, DFT method

1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais cobrem 17,7 milhões de Km², o que corresponde a 44% da área florestal global remanescente (KEENAN et al., 2015). Estas florestas destacam-se pela alta produtividade primária líquida, atuando como um verdadeiro reservatório de carbono (ALVES et al., 2010; PAULA et al., 2011; GURUNG et al., 2015), além de contribuir com vários serviços ecossistêmicos, dentre os quais a manutenção do clima (HENRIQUES, 2010).

No atual contexto de mudanças climáticas, as florestas tropicais representam um efetivo sumidouro de carbono (C) e estocam centenas de megatoneladas de carbono acima e abaixo do solo (CHENG et al., 2007; ANDERSON-TEIXEIRA et al., 2016). Por exemplo, estudos em florestas tropicais em três continentes estimaram um estoque total de carbono de 247 gigatoneladas (Gt), das quais 193 Gt C acima do solo e 54 Gt C abaixo do solo; as florestas latino-americanas estocam a maior quantidade, seguindo-se a África Subsaariana e o sudeste da Ásia, com 49%, 26% e 25%, respectivamente (SAATCHI et al., 2011).

A compreensão dos estoques, funcionamento e dinâmica da biomassa florestal tropical requer o desenvolvimento de ferramentas adequadas para lidar com estimativas de biomassa acima do solo (SILVEIRA et al., 2007; STAS et al., 2017), onde a maior quantidade de carbono é armazenada (SAATCHI et al., 2011).

A quantificação de biomassa em florestas naturais é geralmente difícil de obter, devido aos custos envolvidos na obtenção e processamento de amostras de árvores. Além disso, a biomassa e os estoques de carbono por área variam com muitos fatores, tais como o tipo de clima, o histórico de perturbações e a idade da floresta (ANDERSON-TEIXEIRA et al., 2016). Muitos esforços têm sido feitos, nas últimas décadas, para obter equações de diversas áreas florestais, o que pode permitir estimativas adequadas de biomassa, especialmente quando uma quantificação direta não é possível (CHAVE et al., 2004; PEARSON; BROWN, 2005 e CHAVE et al., 2014).

Como resultado dos esforços, uma série de equações foram propostas para estimativas de biomassa aplicável a todas as florestas tropicais (PEARSON; BROWN, 2005; PICARD, SANT-ANDRÉ; HENRY, 2012; CHAVE et al., 2014). Na Amazônia brasileira, a maior área florestal global, com maior estoque de biomassa e carbono (SAATCHI et al., 2011), foram propostas algumas equações locais e regionais (VIEIRA et al., 2008). As estimativas de biomassa por hectare, entretanto, variam amplamente; por exemplo, de 291 Mg.ha⁻¹ a 495 Mg.ha⁻¹ usando a mesma base de dados e aplicando equações diferentes em florestas primárias da Amazônia (ALVES et al., 1997).

A capacidade global de sequestro de carbono pelas florestas tropicais foi consideravelmente reduzida devido à fragmentação e suas consequências relacionadas. Juntamente com a remoção completa da biomassa arbórea acima e abaixo do solo, a fragmentação também leva à perda de grandes árvores, causada por uma elevada mortalidade perto de bordas, especialmente de árvores emergentes que são particularmente vulneráveis (LAURANCE et al., 2002; LAURANCE et al., 2011); corte seletivo de madeira (HOUGHTON, 2005; HUANG; ASNER, 2010) e, também, sucessão retrógrada ou degeneração florestal (PAULA et al., 2011; JOLY et al., 2014). À medida que as florestas tropicais se tornam cada vez mais ameaçadas, os remanescentes tornam-se mais escassos, menores e, em muitos casos, com proteção legal contra a supressão das árvores (MONTES et al., 2000; VIEIRA et al., 2008).

Na Floresta Atlântica brasileira, há uma carência de estudos disponíveis que testem a eficiência das equações gerais ou produzam equações regionais. Poucas pesquisas abordaram esse assunto, com base em medidas diretas da biomassa de árvores, tendo sido registrado o desenvolvimento de equações locais somente na parte sudeste do bioma (TIEPOLO et al., 2002; BURGER; DELITTI, 2008; VIEIRA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009).

A ausência de uma equação geral e adequada para a floresta atlântica justifica-se por várias razões: a grande heterogeneidade da vegetação ao longo do domínio atlântico, a existência de muitas áreas secundárias em diferentes estágios de sucessão e sob vários regimes de perturbação e, por fim, a proibição de corte por razões técnicas e legais (VIEIRA et al., 2008; WATZLAWICK et al., 2012). No entanto, é necessário encontrar uma solução para abordar essa questão e permitir uma avaliação confiável da biomassa acima do solo e a quantificação consistente do carbono estocado nestas florestas (SANQUETTA, 2002).

Na ausência de métodos alternativos para avaliar a biomassa ou testar as equações existentes, tem havido uma aplicação de equações gerais para florestas tropicais e/ou amazônicas para obter estimativas de biomassa na floresta atlântica (ROLIM et al., 2005; LINDNER, 2010; PAULA et al., 2011). Essa escolha, no entanto, pode gerar números irreais e, conseqüentemente, sub ou superestimar os estoques de carbono (RUTISHAUSER et al., 2013; HUY et al., 2016). Portanto, há uma demanda pelo desenvolvimento de equações específicas (NGOMANDA et al., 2014), e por um método alternativo para superar as restrições de conservação e coleta proibida para avaliação direta.

Uma alternativa para o desenvolvimento de uma avaliação eficiente da biomassa nessa situação é a utilização de Árvores Mortas Caídas (AMC) recentemente, para uma medição rigorosa dos volumes e densidades de árvores. Esta técnica é vantajosa por três razões: 1)

permite ajustar os modelos matemáticos disponíveis para obter uma equação para estimativa da biomassa arbórea, 2) evita a supressão de árvores na situação de grandes ameaças e restrições legais, e 3) permite avaliar a eficiência das equações gerais em florestas de baixa densidade de árvores.

Baseamos nossa proposta de método na suposição de que a densidade básica da madeira de árvores mortas recém-caídas, na ausência de sinais de decomposição, está significativamente relacionada à densidade básica de árvores vivas no mesmo local (CHAO et al., 2008). Dessa forma, aceitamos a utilização dessa técnica para estimar a biomassa em pé sob proteção restritiva, o que também torna as estimativas de biomassa mais fáceis e menos onerosas. Diante do exposto, nossa pesquisa tem como objetivo propor um novo método para as estimativas de biomassa arbórea - o método AMC e responder às seguintes perguntas: (i) o ajuste de modelos alométricos utilizando árvores mortas recém-caídas fornece equações precisas e acuradas para estimar a biomassa arbórea acima do solo em florestas tropicais fragmentadas e ameaçadas? (ii) equações alométricas regionais ou pantropicais fornecem boas estimativas de biomassa arbórea para florestas tropicais ameaçadas e de baixa densidade?

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI), localizado no estado de Pernambuco, entre as coordenadas 7°57'40" S - 8°00'52" S e 34°56'23" W - 34°57'31" W. O PEDI é o maior fragmento urbano de Floresta Atlântica na Região Metropolitana do Recife, PE (RAMOS; ZICKEL; PIMENTEL, 2006), possuindo 1.157,72 ha, divididos em duas partes, com características bem distintas: floresta madura com 384,7 ha e floresta jovem com 773,02 ha. A floresta madura apresenta uma estrutura bem conservada, enquanto que a floresta jovem contrasta com a área madura, por ser vegetação secundária, de formação mais recente, com cobertura mais baixa e aberta.

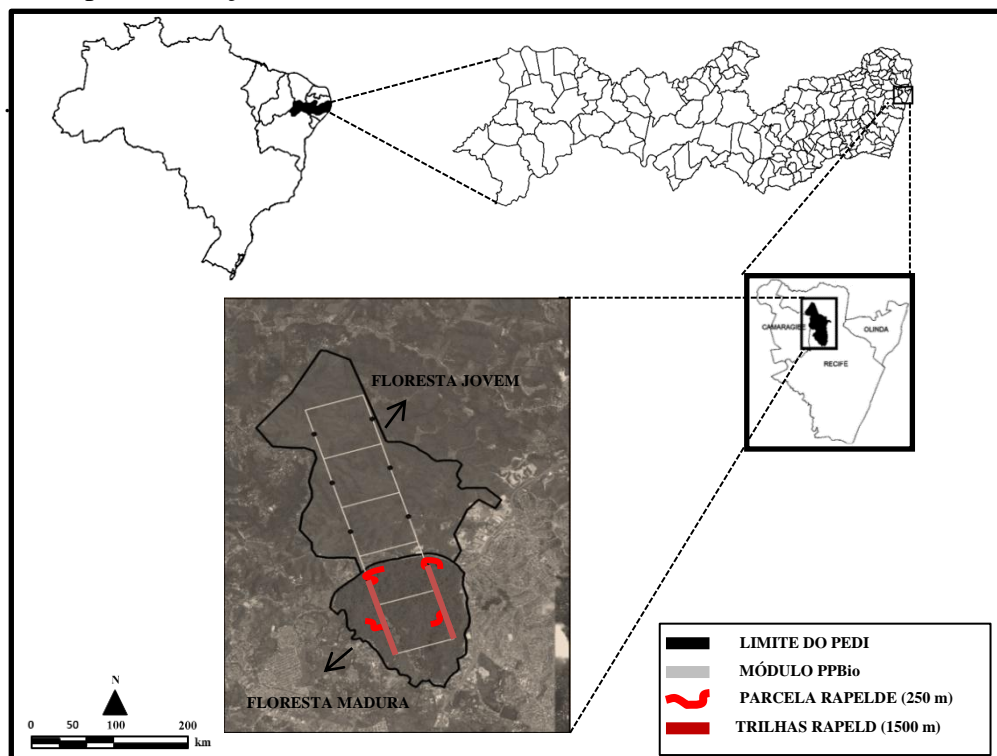
A vegetação do PEDI é do tipo Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas onde são observados três estratos arbóreos, com um dossel que atinge de 20 a 30 m de altura (IBGE, 2012; CPRH, 2014). O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é Tropical úmido ou tropical costeiro (As'), representando um clima quente e úmido, que não apresenta inverno térmico (BEZERRA, 2006). O regime de chuvas se distribui no período de outono-inverno, com precipitação média anual de 2460 mm, e temperaturas médias mensais superiores a 23°C (COUTINHO et al., 1998).

Os solos predominantes são do tipo latossolo amarelo, argissolo amarelo, argissolo vermelho-amarelo, neossolo quartzarênico, gleissolo melânico (CALDAS, 2007; BENEDETTI et al., 2011), relacionado com o contexto geológico do local, o Grupo Barreiras (COUTINHO et al., 1998). A profundidade do solo varia, possuindo granulometria com textura arenosa nas superfícies e partes mais baixas do relevo, e textura argilosa, em seus horizontes superficiais. A acidez do solo varia de média a elevada, o que se apresenta dentro do esperado para regiões de elevada precipitação (CALDAS, 2007).

2.2 COLETA DE DADOS

Os dados básicos para o desenvolvimento da pesquisa foram originários do inventário florestal realizado na área madura (Figura 1), no período de março a julho de 2016, no módulo do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), Sítio PEDI.

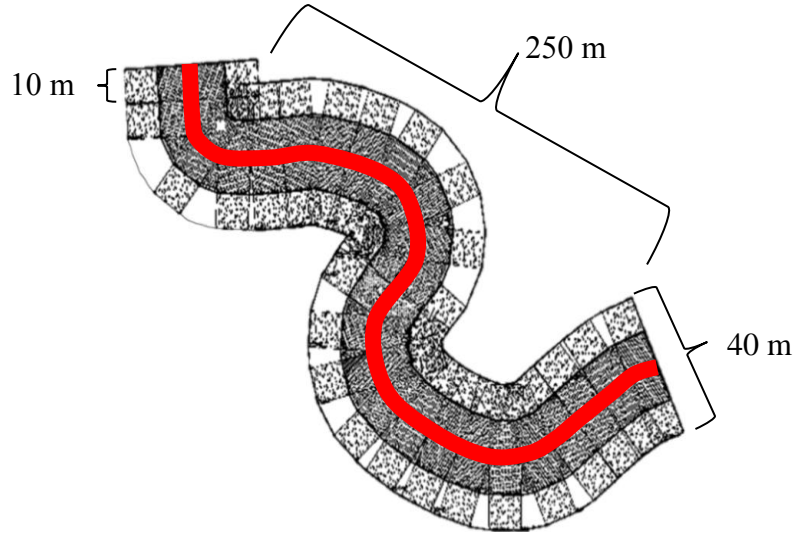
Figura 1. Área de estudo, Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI), Pernambuco, Brasil, com indicação (em vermelho) do transecto de linha utilizado para amostragem de árvores mortas recém-caídas para avaliação da biomassa arbórea acima do solo (BAS).



Nesse sítio, foi instalado um Módulo RAPELDE (MAGNUSSON et al., 2005; MAGNUSSON et al., 2013), que consta de um sistema de trilhas e parcelas permanentes estabelecidas sistematicamente. As trilhas seguem linhas retas e as parcelas seguem a curva

de nível do terreno, compostas por 25 segmentos com 10 m de comprimento cada, totalizando 250 m de comprimento por 40 m de largura (Figura 2).

Figura 2. Figura representativa da parcela no método RAPELD, seguindo a curva de nível do terreno, com 25 segmentos retos de 10 metros de comprimento cada.

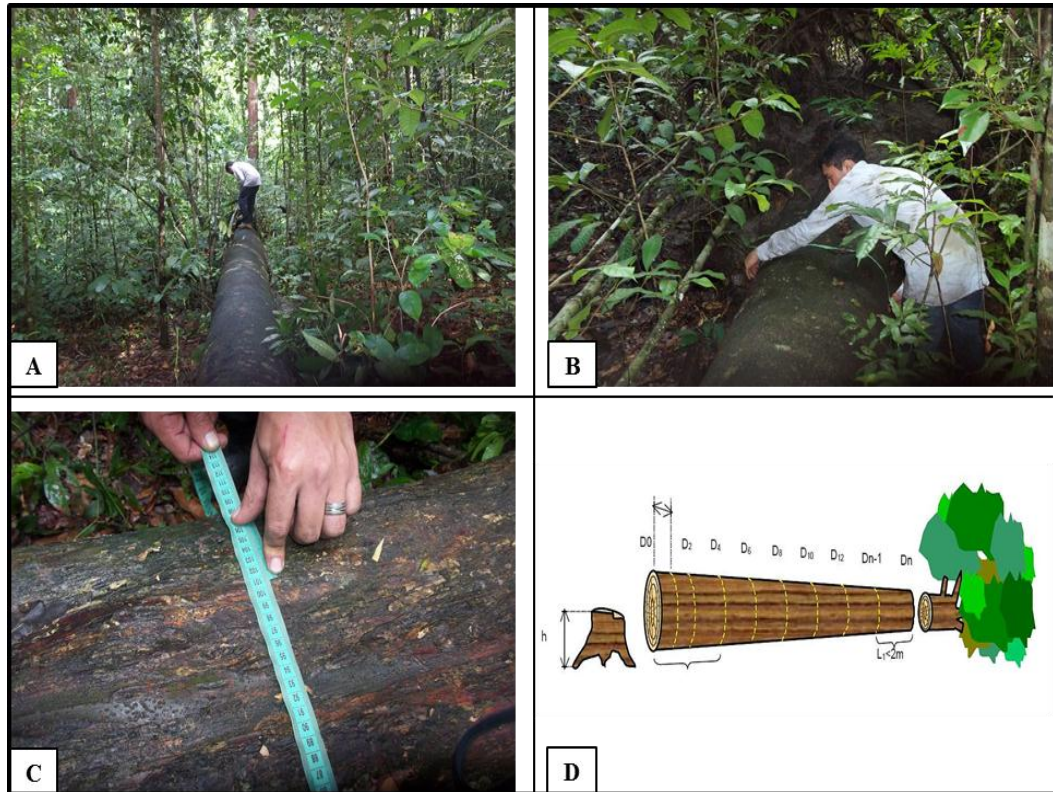


Para coleta de dados, foram utilizadas quatro linhas de 250 m de comprimento no centro de cada parcela instalada na área madura do PEDI, totalizando 1000 m de extensão, e mais 3000 m de trilha, o que corresponde a 4000 m amostrados (ver Figura 2). Foram consideradas na coleta apenas as árvores mortas recém-caídas em boas condições físicas aparentes (com base, fuste e sem presença de decomposição) e com diferentes amplitudes diamétricas e de altura. O nível de inclusão adotado foi de $DAP \geq 5$ cm (DAP - diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo). Para cada árvore encontrada, foi mensurada a circunferência à altura do peito (CAP) com uma fita métrica e depois transformada em DAP, a altura total (HT) com auxílio de uma trena, e densidade básica da madeira (DBM). Para obtenção da DBM, retirou-se um disco amostral de 5 cm de espessura do primeiro galho de cada árvore amostrada. O volume (m^3) de cada árvore foi obtido por meio da cubagem rigorosa de Smalian, em seções de comprimento variáveis ao longo do tronco (0,30; 0,70; 1,30; 2,00 m e assim sucessivamente, de metro a metro, até a altura total da árvore) (Figura 3). A cubagem pode ser dada pela seguinte expressão (equação 1):

$$V_{Est}: g_1 + g_{n-1} + 2(g_2 + g_3 + g_4 \dots g_{n-2}) + \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \cdot L_n \quad (1)$$

Em que: V_{est} : volume estimado (m^3); $g_{1,2,3,4}$ área transversal 1, 2, 3, 4; g_{n-1} : área transversal da penúltima seção; g_{n-2} : área transversal da antepenúltima seção; g_n : área transversal da última seção; L_n : comprimento da última seção.

Figura 3. Cubagem rigorosa das árvores mortas recém-caídas: A) árvores mortas recém-caídas; B) medição do diâmetro a altura do peito, a 1,30 m; C) medições em várias seções ao longo do fuste (Autor: FONSÊCA, N.C.) D) esquema de cubagem rigorosa de Smalian (Autor: Embrapa-Amazônia Oriental).



2.3 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DAS ÁRVORES MORTAS RECÉM-CAÍDAS

Para a variável DBM foi utilizado o método de imersão em água, em conformidade com a norma brasileira-NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2003), a partir dos discos (5 cm) de todas as árvores amostradas. Os discos foram armazenados em sacos plásticos fechados em campo e levadas para o Laboratório de Ecologia Vegetal (LEVE) da Universidade Federal Rural de Pernambuco para medição. Em laboratório, as amostras foram imersas em recipiente com água para reidratar e atingir o ponto de saturação necessário à medição. Em seguida, os discos foram mantidos em descanso fora do recipiente por 10 minutos para diminuir o excesso de água. Após essa fase foi medido o peso do recipiente com água, em gramas. Depois, adicionou-se o disco dentro do recipiente com água e anotou-se novamente o peso em gramas. Após esta fase, cada disco foi depositado em um recipiente de papel e colocado em estufa à temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingir peso constante. Com o valor do recipiente com água e disco imerso, obteve-se o volume (cm^3) saturado em campo e

com o valor do peso seco (g), realizou-se o cálculo da densidade básica por meio da seguinte fórmula (equação 2).

$$D_b = \frac{m_3}{(m_2 - m_1)} \quad (2)$$

Em que: D_b = densidade básica (g.cm^{-3}); m_3 é a massa da amostra seca em estufa a ($103^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$), em gramas; m_2 é a massa do recipiente com água e disco imerso, em gramas; m_1 é a massa do recipiente com água, em gramas.

Com os valores de densidade para cada árvore cubada e seus respectivos volumes (m^3), foi realizada a multiplicação ($V_{\text{est}} * D_b$) para obtenção da biomassa arbórea acima do solo. De posse do valor de biomassa, foram acrescentados 33% como proposto por Marinho (2010). Esta percentagem refere-se aos compartimentos da copa (galhos grossos, finos e folhas), visto que no presente estudo a cubagem das árvores foi realizada somente do compartimento fuste pela impossibilidade da utilização de ferramentas necessárias para o corte das árvores para posterior pesagem. Brown e Lugo (1982) estimaram que as florestas naturais acumulam biomassa de folhas equivalente a 2% da biomassa acima do solo e Clevelario Júnior (1996) estimou que a participação dos galhos na biomassa das árvores corresponde a 30%.

3 ANÁLISE DOS DADOS

3.1 ANÁLISE DESCRITIVA

Os dados medidos em campo e os provenientes da pesagem das amostras após a secagem na estufa foram submetidos a uma análise exploratória. Essa etapa do trabalho teve como objetivo identificar dados que caracterizassem algum *outlier* no conjunto de dados e conhecer sua distribuição. A realização dessa análise foi baseada na interpretação das medidas descritivas de tendência central como a média aritmética e medidas de dispersão como variância, desvio padrão e erro padrão da média.

Além disso, a variável dependente, biomassa arbórea acima do solo (BAS) foi submetida ao teste de Shapiro-Wilk (SW) a 0,05 de significância para verificar se os dados seguiam distribuição normal, conforme Schneider et al. (2009), sendo as hipóteses testadas foram: H_0 : Os dados seguem uma distribuição normal; H_1 : Os dados não seguem uma distribuição normal.

Como o teste de normalidade SW constatou que a distribuição dos dados da variável dependente não seguia uma distribuição normal ($D_{BAS} = 0,0001$), os dados brutos foram submetidos à transformação Box-Cox com o propósito de determinar qual a transformação correta para conjunto de dados. De acordo com Silva e Bailey (1991), o uso da transformação Box-Cox é necessário sempre que um dos pressupostos necessários à aplicação da técnica análise de regressão é violado, tornando-se necessária a transformação, visando à correção desta falha.

De acordo com o resultado da transformação de Box-Cox, em que o valor de Lambda foi igual a zero (0), realizou-se a transformação logarítmica da variável dependente (LnY) como sendo um indicativo de que os modelos transformados podem obter resultados satisfatórios (BOX; COX, 1964). Realizada a transformação da variável dependente, calculou-se novamente o teste de Shapiro-Wilk, o qual constatou distribuição normal dos dados, com $D_{BAS} = 0,3137$, ou seja, $p > 0,05$.

Posteriormente, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r) a 0,05 de significância, para avaliar a existência de correlação entre a variável resposta (BAS) e as variáveis explicativas (DAP, HT e DBM). Após a verificação dos dados, foram realizados os ajustes dos modelos selecionados.

3.2 AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA ARBÓREA ACIMA DO SOLO (BAS)

De posse dos dados, realizou-se o ajuste de nove modelos matemáticos, lineares e não lineares (Tabela 1), a fim de obter equações adequadas para as estimativas de BAS em florestas perturbadas e fragmentadas do domínio da Mata Atlântica. As variáveis independentes foram: DAP, HT e DBM, além de suas combinações (DAP^2*HT ; $DAP*HT$ e $DBM * DAP^2 * HT$).

Tabela 1. Modelos volumétricos adaptados para estimativa de biomassa a partir dos dados coletados em árvores mortas caídas no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, Pernambuco

Modelos	Autores	Formulação matemática
(I)	Husch	$LnBAS_{(kg)} = \beta_0 + \beta_1 * Ln(DAP) + \varepsilon_i$
(II)	Spurr	$LnBAS_{(kg)} = \beta_0 + \beta_1 * Ln(DAP^2 * HT) + \varepsilon_i$

Continua

Continuação

(III)	Schumacher e Hall	$\text{LnBAS}_{(kg)} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(\text{DAP}) + \beta_2 * \text{Ln}(\text{HT}) + \varepsilon_i$
(IV)	Kopezky Gehrhardt	$\text{BAS} = \beta_0 + \beta_1 * (\text{DAP}^2) + \varepsilon_i$
(V)	Schumacher e Hall	$\text{BAS}_{(kg)} = \beta_0 * \text{DAP}^{\beta_1} * \text{HT}^{\beta_2} + \varepsilon_i$
(VI)	Meyer	$\text{BAS}_{(kg)} = \beta_0 + \beta_1 * (\text{DAP}) + \beta_2 * (\text{DAP}^2) + \beta_3 * (\text{DAP} * \text{HT}) + \beta_4 * (\text{DAP}^2 * \text{HT}) + \beta_5 * (\text{HT}) + \varepsilon_i$
(VII)	Naslund	$\text{BAS}_{(kg)} = \beta_0 + \beta_1 (\text{DAP}^2) + \beta_2 * (\text{DAP}^2) * (\text{HT}) + \beta_3 * (\text{DAP} * \text{HT}^2) + \beta_4 * (\text{HT}^2) + \varepsilon_i$
(VIII)	Tiepolo	$\text{BAS}_{(kg)} = \beta_0 + \beta_1 * (\text{DAP}) + \beta_2 * (\text{DAP}^2) + \varepsilon_i$
(IX)	Chave	$\text{BAS}_{(kg)} = \beta_0 (\text{DBM} * \text{DAP}^2 * \text{HT})^{\beta_1} + \varepsilon_i$

Em que: BAS: biomassa arbórea acima do solo (kg/árv); DAP: diâmetro a altura do peito (cm); HT: altura da árvore (m); DBM: densidade básica da madeira (g/cm³); β_i : parâmetros do modelo; Ln: logaritmo neperiano.

Os modelos I, II e III, não lineares, foram linearizados utilizando a transformação logarítmica, e as medidas de precisão das equações originadas destes modelos foram recalculadas para corrigir tendenciosidades promovidas pelo emprego dos logaritmos, podendo, assim, serem comparadas com aquelas obtidas pelas equações lineares (MACHADO et al., 2002; REZENDE et al., 2006). Para isso, foi utilizado o fator de correção de Meyer (equação 3) para a discrepância logarítmica:

$$F_c = e^{(0,5 * QMR)} \quad (3)$$

Em que: F_c = fator de correção para a discrepância logarítmica; e = exponencial; QMR = quadrado médio do resíduo da equação logarítmica.

Calculado o fator de correção para a discrepância logarítmica, o mesmo foi multiplicado com a biomassa (kg) de cada árvore. De posse destes novos valores, foram recalculados os valores corrigidos do coeficiente de determinação (R^2) e do erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%).

3.3 SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO E COMPARAÇÃO COM EQUAÇÕES REGIONAIS E PANTROPICAIS

A escolha da melhor equação alométrica foi realizada com base nos seguintes critérios estatísticos (SCHNEIDER et al., 2009): análise de variância (teste 'F'; $p \leq 0,01$), maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) dado pela equação 4, menor erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), por meio da equação 5 e, por fim, análise gráfica de resíduos (Equação 6), para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente.

$$R^2_{aj} = R^2 - \left[\frac{K - 1}{N - K} \right] \cdot (1 - R^2) \quad (4)$$

Em que: R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado; k = Número de coeficientes da equação; N = Número de observações.

$$S_{xy}\% = \frac{S_{xy}}{\bar{Y}} * 100 \quad (5)$$

Em que: $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em percentagem; S_{xy} = erro padrão da estimativa; \bar{Y} = média aritmética da variável dependente; $QM_{resíduo}$ = quadrado médio do resíduo.

$$Ei\% = \frac{y_i - \hat{y}_1}{y_i} 100 \quad (6)$$

Em que: E_i = Resíduo da i -ésima observação; y_1 = Variável dependente observada; \hat{y}_1 = Variável dependente estimada.

A melhor equação foi confrontada com equações regionais, desenvolvidas por Burger (1997); Tanizaki (2000) e Burger (2005) e equações consideradas pantropicais como a de Brown et al. (1989); Chave et al. (2014) e Pearson e Brown (2005), com o propósito de avaliar o desempenho dessas equações na estimativa de biomassa arbórea para a tipologia florestal estudada (Tabela 2).

Tabela 2. Equações alométricas selecionadas para estimativas de biomassa acima do solo na área de estudo (Parque Estadual de Dois Irmãos) na Mata Atlântica, Nordeste do Brasil

Nº Equações	Autores	Equações
I	Brown et al. (1989)	$\text{LnBAS}_{(\text{kg})} = -3,1141 + 0,9719 * \text{Ln}(\text{DAP}^2 * \text{HT})$
II	Burger (1997)	$\text{BAS}_{(\text{kg})} = -5,714 + 0,023 * \text{DAP}^2 * \text{HT}$
III	Tanizaki (2000)	$\text{LnBAS}_{(\text{kg})} = 2,718^{(-2,5202+2,14* \text{Ln}(\text{DAP}) + 0,4644* \text{Ln}(\text{HT}))}$
IV	Burger (2005)	$\text{LnBAS}_{(\text{kg})} = -4,15190 + 1,06068 \text{Ln}(\text{DAP}^2 * \text{HT})$
V	Chave et al. (2014)	$\text{BAS}_{(\text{kg})} = 0,0673 * (\text{DBM} * \text{DAP}^2 * \text{HT})^{0,976}$
VI	Pearson e Brown (2005)	$\text{LnBAS}_{(\text{kg})} = -2,289 + 2,649 * \text{Ln}(\text{DAP}) - 0,021 * \text{Ln}(\text{DAP})^2$

Em que: BAS: biomassa arbórea acima do solo (kg/árv); DAP: diâmetro a altura do peito (cm); HT: altura; DBM: densidade básica da madeira (g/cm³); Ln: logaritmo neperiano.

Os parâmetros usados para verificar a existência de diferenças nas estimativas obtidas a partir de cada equação, em relação aos valores da biomassa estimada para o local de estudo, foi o coeficiente de correlação de Pearson(r), o teste “t” pareado de Student a 5% de significância e o diagrama de dispersão. Em seguida, a melhor equação foi utilizada para estimar a BAS no PEDI por meio de uma base de dados de um inventário florestal realizado por Aguiar (2016) em duas parcelas (250 x 40m) alocadas no PEDI, no qual foram mensurados o DAP e a HT de todas as árvores com circunferência a altura do peito (CAP) maior que 15,7 cm.

Para realizar as análises, foram utilizados os seguintes softwares: Microsoft Office Excel 2010[®], para a tabulação dos dados e elaboração de gráficos; Software DataFit versão 8.0.32 (Oakdale Engenharia, Oakdale, PA, EUA) para ajuste e obtenção dos parâmetros dos modelos e o Software R. 3.3.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016) para demais análises.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Na área de estudo, foram encontradas e cubadas 37 árvores mortas recém-caídas em boas condições físicas aparentes (com base e fuste) e com diferentes classes de diâmetros, variando de 7,6 a 92,3 cm e de altura, variando de 8,6 a 29,4 m (Tabela 3).

Tabela 3. Distribuição das 37 árvores mortas recém-caídas amostradas no local de estudo, Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, PE, por classes de diâmetro e de altura

Classes de diâmetros		Classes de altura	
DAP (cm)	Nº de árvores	HT(m)	Nº de árvores
5 - 15	4	5 - 10	1
15 -30	16	10 - 15	10
30 - 45	9	15 - 20	14
> 45	8	> 20	12

Em que: DAP: diâmetro a altura do peito (cm); HT: altura (m).

A densidade básica média obtida para todas as árvores amostradas foi $0,6413 \text{ g.cm}^{-3}$. O volume total (m^3) das árvores ficou entre 0,12 e $10,28 \text{ m}^3$. Quanto à biomassa arbórea total para cada árvore cubada, obtiveram-se valores entre 64,14 e $7897,4 \text{ kg/árv}$, com média de $1536,96 \text{ kg/árv}$.

No que se refere à análise descritiva de tendência central e de medidas de dispersão das variáveis utilizadas nos ajustes dos modelos (Tabela 4), pode-se observar uma grande elevação no coeficiente de variação das variáveis DAP, HT, DBM, Vol e da BAS, o que é característico de florestas tropicais nativas (HIGUCHI et al., 1998), pelo fato de existir uma grande heterogeneidade de espécies de grande e pequeno porte na floresta.

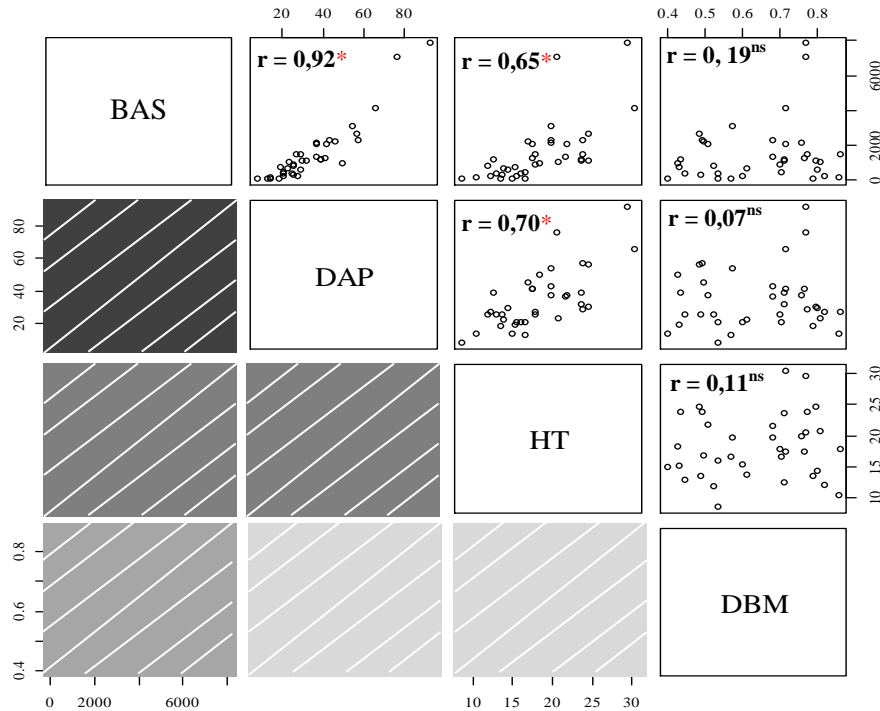
Tabela 4. Estatística descritiva para as variáveis das 37 árvores amostradas no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, Pernambuco

Variável	Média	Unidade	Desvio Padrão (\pm)	Erro padrão da média	Coefficiente de variação
BAS	1536,96	Kg	1724,79	279,79	112,22
DAP	34,59	Cm	18,24	2,95	52,72
HT	18,18	M	5,07	0,82	27,93
DBM	0,6413	g.cm^{-3}	0,14	0,02	22,11
Vol	2,38	m^3	2,39	0,38	100,63

Em que: BAS= biomassa arbórea acima do solo; DAP= diâmetro a altura do peito (cm); HT: altura; DBM: densidade básica da madeira (g/cm^3); Vol = volume (m^3).

Ao realizar a análise de correlação de Pearson (r) entre a variável dependente (BAS) e as variáveis independentes (DAP, HT e DBM), observou-se uma forte correlação da variável DAP e HT com BAS, enquanto que a variável DBM apresentou baixa correlação (Figura 4).

Figura 4. Matriz de correlação entre as variáveis dependentes e independentes utilizadas no ajuste dos modelos; ns = não significativo; * = significativo. Na diagonal inferior, cores mais escuras representa maior correlação das variáveis.



4.2 EQUAÇÕES PARA ESTIMAR A BIOMASSA ARBÓREA ACIMA DO SOLO (BAS)

Na Tabela 5, estão apresentados os nove modelos ajustados, com seus respectivos indicadores de qualidade (F , R^2_{aj} e $S_{yx}\%$), bem como os seus coeficientes e as estatísticas calculadas para a verificação da qualidade desses ajustes.

Tabela 5. Parâmetros e estatísticas dos modelos ajustados para fins de seleção da melhor equação para estimativa de biomassa arbórea total, Parque Estadual de Dois Irmãos, Nordeste do Brasil

Modelos	Coeficientes						F	R^2_{aj}	S_{yx} (%)
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
I	-0,1696	2,0346	-	-	-	-	$\leq 0,01$	0,82	36,12
II	-1,4804	0,8523	-	-	-	-	$\leq 0,01$	0,85	44,20
III	-1,4810	1,7027	0,8542	-	-	-	$\leq 0,01$	0,84	44,96

Continua

Continuação

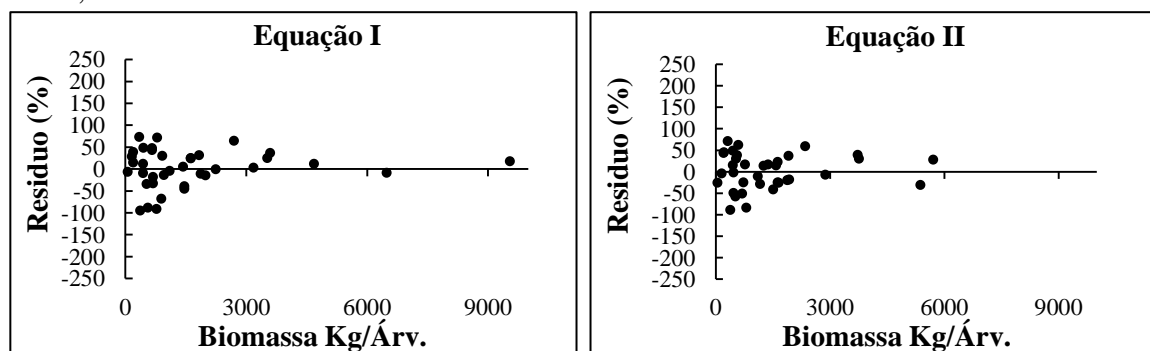
IV	80,0524	0,9580	-	-	-	-	$\leq 0,01$	0,91	33,56
V	1,5292	2,0601	-0,2187	-	-	-	$\leq 0,01$	0,90	34,44
VI	-705,9510	-48,6549	2,3675	-1,1562	-0,0287	114,3030	$\leq 0,01$	0,92	31,27
VII	-584,4912	1,0368	0,0251	-0,1302	4,6063	-	$\leq 0,01$	0,92	31,43
VIII	116,3074	-1,9011	0,9774	-	-	-	$\leq 0,01$	0,90	34,05
IX	1,6332	0,7023	-	-	-	-	$\leq 0,01$	0,90	33,85

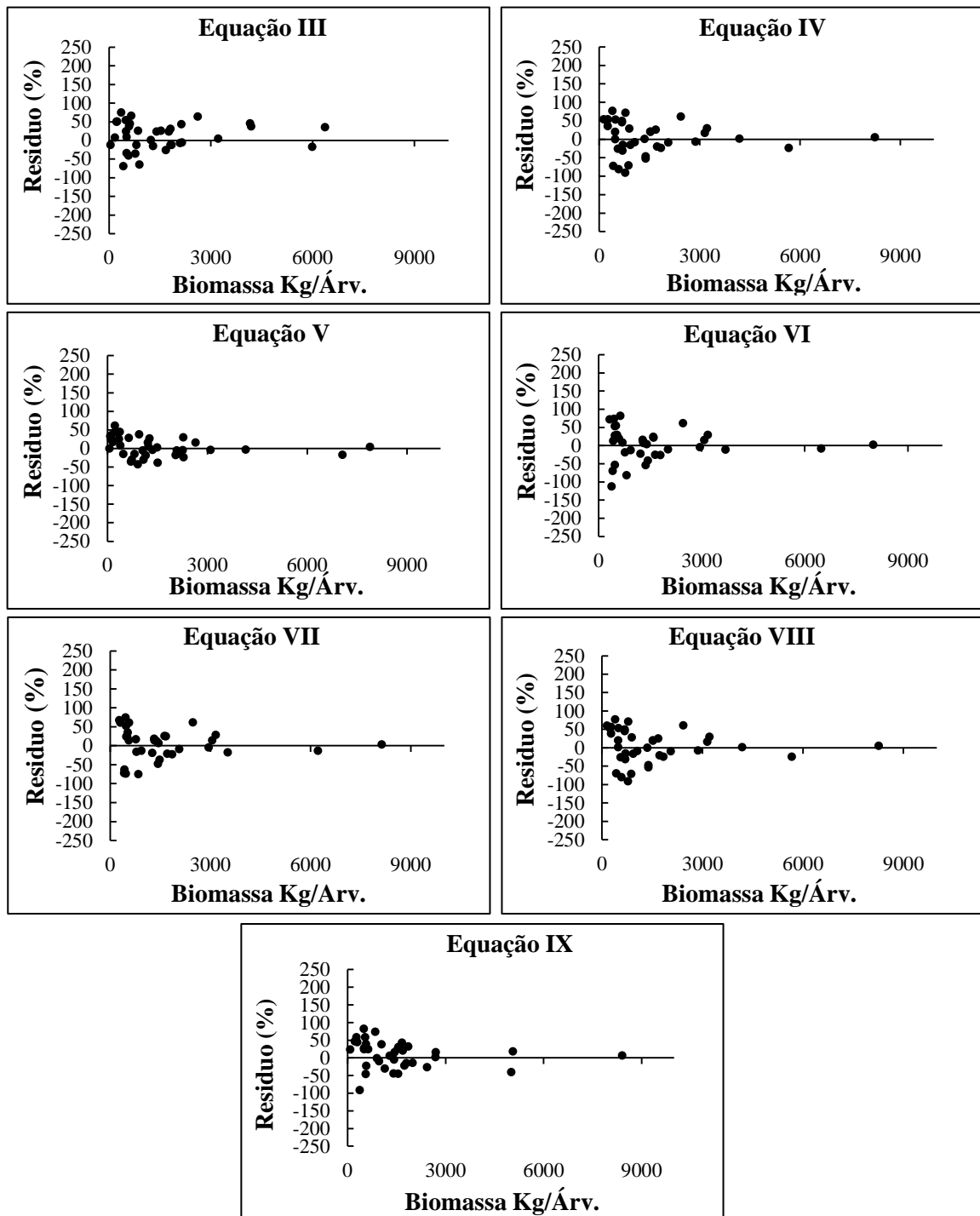
Em que: R^2_{aj} . = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} (%) = erro padrão da estimativa em porcentagem; β_0 , β_1 , β_n , = coeficientes de regressão.

Observou-se que as equações apresentaram bons resultados com base no coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), com valores variando de 0,82 a 0,92. As equações aritméticas foram as que apresentaram melhores resultados para essa estatística, quando comparadas com as logarítmicas, porém, todas as equações foram significativas, com altos valores de F e $p < 0,01$. Os melhores ajustes para R^2_{aj} foram observados nas equações aritméticas IV a IX, enquanto que as equações logarítmicas I, II e III apresentaram os menores ajustes aos dados, com valores variando de 0,82 a 0,85.

Com relação à estatística S_{yx} (%), os resultados indicam que as equações logarítmicas obtiveram notadamente os menores ajustes aos dados, com valores entre 36,12 e 44,96 %. As equações que apresentaram os melhores resultados dentro do conjunto de equações analisadas (aritméticas e logarítmicas) foram as VI e VII, com S_{yx} de 31,27 e 31,43%. Nota-se um alto valor do erro padrão da estimativa obtido para algumas das equações geradas, o que pode estar relacionado à grande variação dos diâmetros e alturas dessas árvores, o que corrobora com aumento da variância e, conseqüentemente, ocasiona aumento do S_{yx} (%) nos ajustes dos modelos. Na figura 5, verifica-se a distribuição gráfica dos resíduos das nove equações ajustadas para fim de seleção da equação mais acurada.

Figura 5. Distribuição gráfica de resíduos (%) para equações geradas para estimativa de biomassa acima do solo de árvores mortas caídas na Mata Atlântica, Parque Estadual de Dois Irmãos, Nordeste do Brasil.





Ao analisar a distribuição dos resíduos, observa-se que todas as equações apresentaram comportamento próximo em relação à homogeneidade da variância, na qual, notou-se uma amplitude residual, demonstrando tendências de sub e superestimativas ao longo da linha de estimativa. Para detectar qual a equação seria a mais apta a estimar a BAS, foi realizada uma análise mais detalhada dos resíduos (erros relativos $\geq 60\%$).

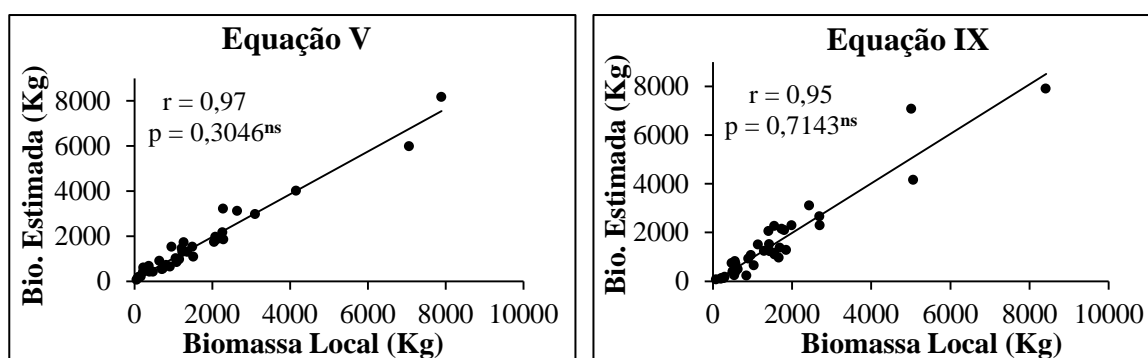
A análise apontou que as equações logarítmicas I, II e III possuem pouca confiabilidade nas suas estimativas. A equação I e III subestimou em 18,9% e 10,8% da

biomassa das árvores amostradas. Para a equação II aconteceu o inverso, superestimou em 10,8%. Além disso, essas equações possuíram os menores valores para o R^2_{aj} em comparação com as demais. Esse conjunto de fatores permitiu concluir que as equações logarítmicas possuem menor eficiência nas estimativas da BAS.

As equações aritméticas (IV, VI e VII) por outro lado, também mostraram tendenciosidade na qualidade das estimativas da BAS, todas subestimaram os valores em 16,2, 21,6 e 24,3%, respectivamente, demonstrando que o padrão de resíduo nestes modelos não segue uma distribuição homogênea, o que indica um comportamento heterocedástico. Por outro lado, as equações V e IX, diferentemente das demais, obtiveram resultados satisfatórios, nos quais superestimaram em apenas 2,8% a BAS, possuindo, assim, os menores erros relativos, além de estar entre as melhores equações, quando se trata dos indicadores de qualidades (R^2_{aj} e $S_{yx\%}$) dos modelos.

Para se assegurar a recomendação da melhor equação, levou-se a considerar outros critérios estatísticos (Teste “t” pareado de Student a 5% de significância, correlação de Pearson e diagrama de dispersão das equações, Figura 6). Nessas análises foram incluídas somente as equações V e IX pelo fato de terem obtidos os melhores resultados na análise gráfica de resíduos.

Figura 6. Diagrama de dispersão, correlação de Pearson (r) e Teste “t” de Student a 5% de significância, para as equações V e IX; *significativo; ns=não significativo.



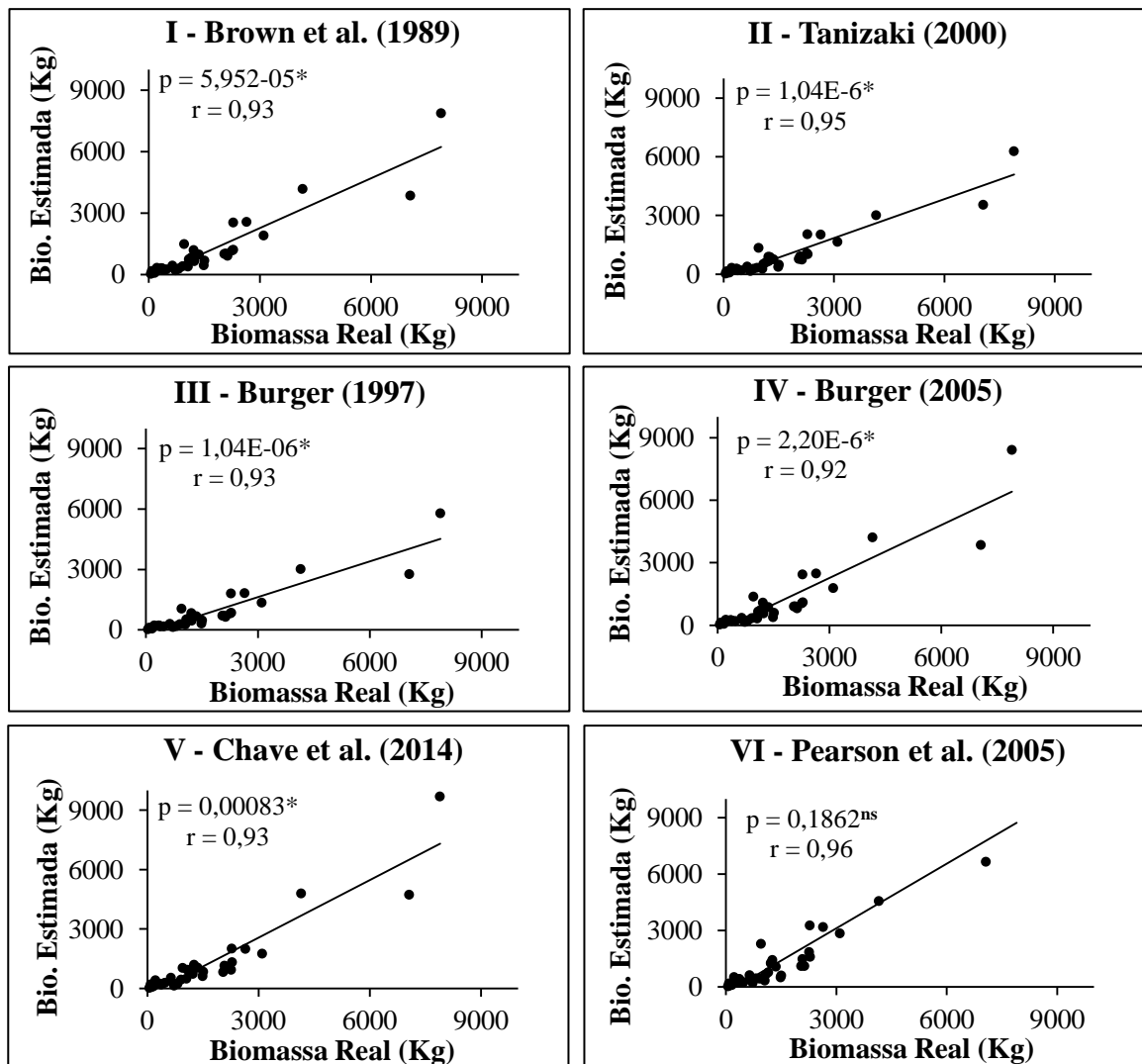
Pelo teste “t”, as equações não foram significativas ($p > 0,05$), ou seja, os valores estimados pelas equações não diferem estatisticamente dos valores de biomassa local. Resultados complementares foram obtidos por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r), em que todas possuíram uma alta correlação da variável dependente local (Y_i) e a estimada (\hat{Y}_i). Todavia, nos gráficos de dispersão, observou-se que a equação V apresentou melhor ajuste, além de usar somente as variáveis independentes (DAP e HT) na sua formulação matemática, diferentemente da equação IX, que utiliza além das variáveis DAP e

HT, a DBM, o que demanda maior esforço e tempo em campo e conseqüentemente na obtenção da variável dependente.

4.3 DESEMPENHO DAS EQUAÇÕES REGIONAIS E PANTROPICAIS NA ESTIMATIVA DA BIOMASSA ARBÓREA

Na presente pesquisa, fica evidente a necessidade de um maior esforço amostral por parte dos pesquisadores, haja vista que, das seis equações selecionadas na literatura (Tabela 2), somente a equação pantropical (VI) de Pearson e Brown (2005), apresentou um bom desempenho, de acordo com os parâmetros utilizados para fins de comparação (Figura 7).

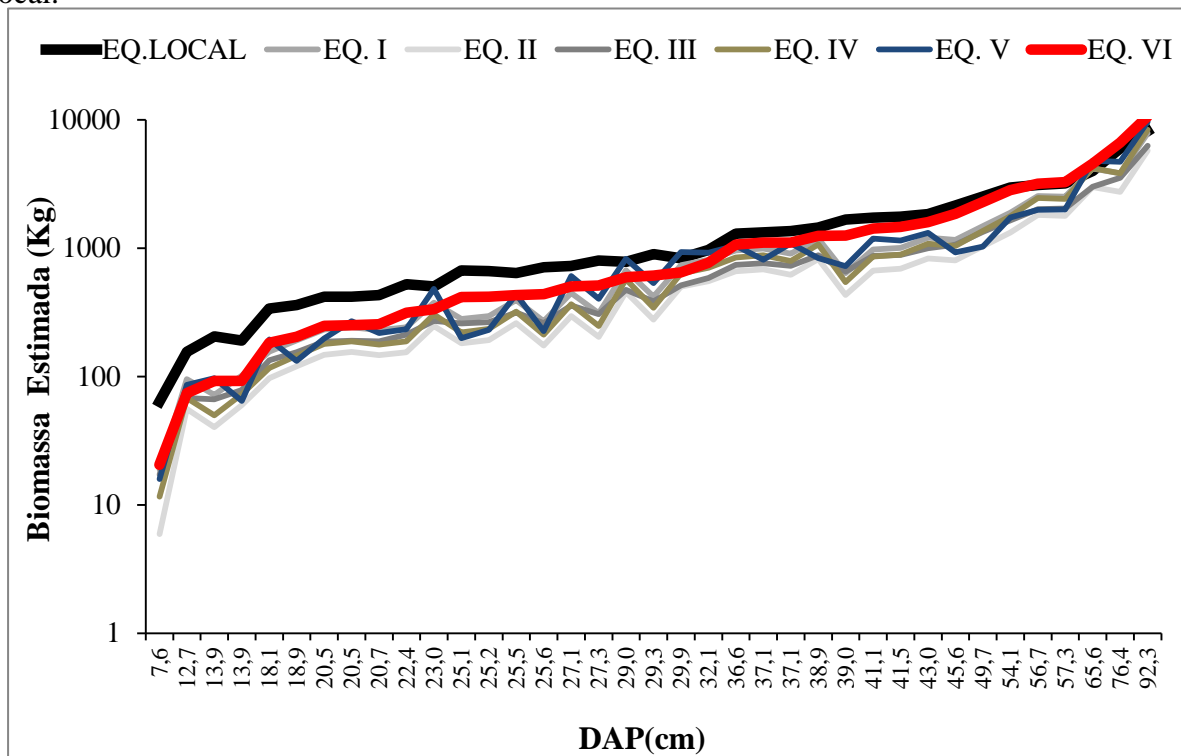
Figura 7. Diagrama de dispersão, correlação de Pearson (r) e teste “t” de Student ($p \geq 0,05$), para comparação das equações selecionadas na literatura, *significativo; ns=não significativo.



A biomassa medida em campo para as 37 árvores amostradas foi de $56,87 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, enquanto que a equação local estimou em $55,84 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Quanto aos valores estimados pelas equações da literatura, observou-se que todas subestimaram a biomassa arbórea. A equação I de Brown et al. (1989) estimou um total de $24,35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, valor este muito abaixo do estimado para o local, demonstrando pouca eficácia da equação, resultado comprovado pelo teste de “t” de Student ($p < 0,05$). As equações II e III (TANIZAKI, 2000 e BURGER, 1997) também subestimaram a biomassa total, com valores de $28,01$ e $32,72 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente.

A BAS estimada pelas equações IV e V (BURGER, 2005 e CHAVE et al., 2014) foram de $37,82$ e $42,36 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, valores próximos mas que diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) da biomassa medida em campo. A equação VI de Pearson e Brown (2005) foi a que apresentou o resultado mais próximo ao da equação local, com uma biomassa de $52,89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $p > 0,05$, não diferindo estatisticamente da biomassa local. No entanto, a equação apresentou limitações nas estimativas (Figura 8).

Figura 8. Estimativas de biomassa acima do solo para 37 árvores na Mata Atlântica, Parque Estadual de Dois Irmãos, utilizando seis equações disponíveis (EQ I a VI) versus equação local.



A falta de eficiência das equações selecionadas na literatura ficou evidente nos indivíduos com menores diâmetros (Figura 9), o que pode ser explicado pelo fato das

equações utilizadas serem ideais para florestas conservadas e com indivíduos de maiores diâmetros.

No presente estudo, de todas as equações avaliadas, a pantropical de Pearson e Brown (2005) foi a que menos subestimou, podendo ser utilizada para estimar a biomassa na ausência de equações específicas para o local de estudo. Entretanto, deve-se ter o cuidado na utilização da equação, pelo fato de ter-se notado que a mesma possui limitações, subestimando a biomassa das árvores com diâmetros entre 5 e 20 cm de DAP em até 50%, o que a torna inadequada para estimar a biomassa para florestas fragmentadas e perturbadas, como é o caso do local de estudo, em que, de acordo com o inventário realizado por Aguiar (2016), possui uma densidade média de 603 indivíduos (ha^{-1}) e desses, cerca de 70 % dos indivíduos estão na classe de 5 a 20 cm de diâmetro.

Sob tais condições e diante da ineficiência das equações regionais e pantropicais na estimativa da biomassa arbórea para floresta em estudo, fez-se necessária a utilização da equação local ($\text{BAS} = 1,5292 * \text{DAP}^{2,0601} * \text{HT}^{-0,2187}$). Por esta, obteve-se uma biomassa de $177,8 \text{ Mg ha}^{-1}$.

5 DISCUSSÃO

O novo método proposto mostrou ser uma ferramenta apropriada para estimar a BAS de florestas sob proteção de conservação e restrições legais. Com base em árvores mortas recém-caídas, uma característica comum nestas florestas, foi possível gerar nove equações alométricas, das quais a derivada do modelo de Schumacher-Hall teve o melhor desempenho. A equação resultante é fácil de aplicar e requer apenas duas variáveis, DAP e HT, uma característica desejada de equações de alta qualidade (HUY et al., 2016). Essas variáveis são simples de medir no campo, têm baixo risco de erros amostrais, requerem menos pessoas fazendo as medições de campo e envolvem baixos custos (VIEIRA et al., 2008; HUY et al., 2016). Além disso, essas variáveis permitem estimativas precisas quando acopladas na mesma equação - sabe-se que a utilização de um ou outro pode levar a sub ou subestimativa da biomassa (SUWA et al., 2013; 2014, SOUZA et al., 2014). Estudos sobre biomassa em diferentes regiões (HIGUCHI; CARVALHO Jr, 1995; VIEIRA, et al., 2008; MUGASHA et al., 2013; CHAVE et al., 2014; SUWA et al., 2013 e SOUZA et al., 2014) têm demonstrado também que o DAP e a HT das árvores apresentam alta correlação com a biomassa arbórea acima do solo, como observado no presente estudo.

Segundo Mugasha et al. (2013), a relação entre a altura e o diâmetro da árvore na altura do peito (DAP) é um elemento importante para descrever povoamentos florestais. A

variável DBM apresentou baixa correlação com a BAS, o que é explicado pelo fato da mesma varia de um indivíduo para o outro, mesmo dentro da mesma espécie, além de variações entre os diferentes compartimentos da árvore (tronco, galhos grandes e pequenos, etc), e ainda dentro do mesmo compartimento, no sentido medula-casca (HIGUCHI; CARVALHO Jr, 1995).

A busca de uma equação robusta para a estimativa da BAS em florestas tropicais é uma necessidade atual e urgente (CHAVE et al., 2005; CHAVE et al., 2014). Muitas pesquisas têm sido realizadas com este propósito e aponta que as equações pantropicais geram boas estimativas da biomassa florestal tropical (FAYOLLE et al., 2013; RUTISHAUSER et al., 2013; STAS et al., 2017), particularmente ao estimar BAS em escalas continentais e globais, uma vez que as equações foram geradas por meio de uma grande base de dados coletadas em florestas tropicais ao redor do mundo.

No entanto, estudos em pequena escala aplicando as equações pantropicais demonstraram frequentemente um viés em suas estimativas devido a restrições locais (HENRY et al., 2010; ALVAREZ et al., 2012; NOGUEIRA LIMA et al., 2012 e HUY et al., 2016). Os resultados apresentados aqui confirmaram tal tendência para subestimativa abaixo de um diâmetro crítico, ao aplicar equações gerais a florestas onde a fisionomia geral se afasta do esperado para florestas primárias.

As equações geradas a partir de florestas conservadas e não ameaçadas, nas quais a fisionomia predominante é de alta densidade arbórea e grandes diâmetros de árvores, mostram serem menos eficientes na estimativa de biomassa de árvores menores. Esse viés provavelmente está relacionado a diferenças nas relações alométricas, arquitetura florestal e densidade de madeira entre florestas (KETTERINGS et al., 2001). Por exemplo, estudos recentes em áreas de florestas, com o objetivo de estimar a biomassa, aplicando equações pantropicais (CHAVE et al., 2005), registraram uma subestimativa de 39,3% nas florestas vietnamitas (HUY et al., 2016) e superestimativa de mais de 40% nas florestas da África Central (NGOMANDA et al., 2014), em comparação com a biomassa observada na área.

Na Mata Atlântica brasileira, um hotspot de conservação (MITTERMEIR et al., 2011) em que a maioria dos fragmentos é reduzida a menos de 50 ha (RIBEIRO et al., 2009), sob severos efeitos de borda e de área, onde está ocorrendo homogeneização e erosão da biodiversidade (JOLY et al., 2014), as densidades das árvores (ind.ha^{-1}) são geralmente reduzidas, criando uma condição de pós-fragmentação permanentemente alterada. No entanto, tais circunstâncias definem o principal reservatório de carbono terrestre disponível ao longo da Costa Sul-Americana. As estimativas da biomassa e do estoque terrestre de carbono devem

considerar este novo cenário se forem esperados dados confiáveis a partir das equações alométricas.

A BAS na Mata Atlântica varia de 40 a 350 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, dependendo das condições abióticas - principalmente temperatura e precipitação (DELITTI; BURGER, 1998; ALVES et al., 2010), fisionomia - altura, área basal, densidade (CHAVE et al., 2005, NOGUEIRA JUNIOR et al., 2014), - ou estado de perturbação. Alves et al. (2010) compilaram uma lista de 25 estimativas de BAS para Florestas Neotropicais e os valores relatados variaram de 109 a 360,2 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Quando se concentraram apenas em estimativas para a Mata Atlântica, os números variaram de 154 a 334,5 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, indicando uma amplitude mais estreita.

Na floresta estudada, registramos 177,8 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, o que parece ser compatível com a baixa densidade arbórea de 603 $\text{ind}\cdot\text{ha}^{-1}$ com $\text{DAP} \geq 5$ cm e corresponde à faixa inferior do intervalo esperado para a Mata Atlântica (ALVES et al., 2010). Se a baixa densidade e a biomassa são explicadas pelo clima, por perturbações antropogênicas ou estimativas precárias ainda é uma questão a ser investigada. Por exemplo, a BAS registrada é semelhante à relatada por Cunha et al. (2009), 148,41 e 167,86 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para remanescentes da Mata Atlântica no Sudeste do Brasil, de tamanhos menores (10-200 ha), idades mais jovens (40 anos), em clima mais seco e com maior densidade (830 $\text{Ind}\cdot\text{ha}^{-1}$). De acordo com Paula et al. (2011), a fragmentação florestal reduz a capacidade do ecossistema de reter biomassa, devido à menor densidade arbórea em pequenos fragmentos e também ao longo das bordas, o que reduz a apenas 1/3 da BAS, quando comparada com o interior da floresta.

6 CONCLUSÕES

A pesquisa atinge o objetivo de definir um novo método (Método AMC - Árvore Morta Caída) para gerar uma equação local para estimativa de biomassa. O método é de rápida execução, pouco dispendioso e evita o corte de árvores em remanescentes de florestas protegidas. Assim, é indicado como uma abordagem alternativa quando equações pantropicais fornecem quantidades subestimadas (o que é o caso na floresta estudada) e/ou existem restrições legais a avaliações diretas. É sugerido que o método AMC seja usado localmente para equações específicas em fragmentos pequenos e ameaçado. Esta abordagem permitiria boas estimativas de biomassa e carbono, facilmente obtidas e prontamente aplicáveis a questões presentes na agenda ambiental global, tais como monitoramento ambiental, mudanças no funcionamento e serviços do ecossistema e, finalmente, contribuir para a conservação das florestas e o entendimento da estimativa de sequestro de carbono pelas florestas litorâneas.

CAPÍTULO II

PRECISÃO E EFICIÊNCIA DE MÉTODOS NA ESTIMATIVA DE NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA TROPICAL ÚMIDA

FONSÊCA, N. C. **Precisão e eficiência de métodos na estimativa de necromassa lenhosa em floresta tropical úmida.** Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Borges Lins e Silva.

RESUMO: O estoque de necromassa lenhosa constitui um componente crucial da estrutura florestal, pois, além de armazenar grandes quantidades de carbono, funciona como reservatório de nutrientes, atuando tanto no aspecto quantitativo quanto relacionado ao funcionamento do ecossistema. Apesar da importância, ainda são ínfimos os estudos sobre sua quantificação em florestas tropicais, pela incerteza quanto ao melhor método de amostragem e quanto ao diâmetro mínimo para inclusão na mensuração. Partindo desse pressuposto, o presente estudo teve como objetivo principal verificar a eficácia de diferentes métodos de amostragem (método da linha interceptora - LIS *versus* método de parcelas de área fixa - AF) em um fragmento de floresta tropical, a fim de obter o método de amostragem mais preciso e eficiente para estimar o estoque de necromassa lenhosa. O estudo foi realizado no Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI), localizado no perímetro urbano da cidade de Recife, estado de Pernambuco, Brasil. A coleta de dados foi realizada entre os meses de março e junho de 2016, em quatro parcelas permanentes (250 m x 40 m cada) instaladas no PEDI pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), Sítio PEDI. Dentro de cada parcela, foram alocados cinco transectos de 50 m (Método LIS) na parte superior, e cinco parcelas de 10 m x 10 m (Peças > 10 cm diâmetro) e, dentro destas, sub-parcelas de 5 m x 5 m (Peças com diâmetro > 2 cm e < 10 cm) (Método AF) na parte inferior. A madeira morta caída foi avaliada por classe de diâmetro e classes de decomposição. Os métodos de amostragem testados foram avaliados por meio de estatísticas descritivas e eficiência relativa de cada método. O estoque de necromassa total estimado foi de 31,42 Mg.ha⁻¹ para o método LIS e 30,55 Mg.ha⁻¹ para o método AF. O estoque total de necromassa estimado representa 15 % da matéria orgânica total acumulada sobre o solo no PEDI. A floresta em estudo mostrou-se com alto percentual de necromassa lenhosa, o que pode ser explicado pela grande quantidade de árvores mortas encontradas no interior da floresta. Pela análise de variância, os valores de necromassa dos métodos avaliados não diferiram estatisticamente, porém, o método da linha interceptadora (LIS) apresentou maior precisão e eficiência na estimativa do que o método da área fixa. Além disto, o método LIS exige menor intensidade amostral para atender ao erro amostral de 15%. Conclui-se, portanto, que o método da linha interceptora (LIS) é mais eficiente que o método de área fixa (AF).

Palavras chave: Área fixa, floresta tropical, madeira morta caída, transecto.

CHAPTER II

PRECISION AND EFFICIENCY OF METHODS IN THE ESTIMATES OF WOODY NECROMASS IN TROPICAL RAINFOREST

FONSÊCA, N. C. **Precision and efficiency of methods in the estimate of woody necromass in tropical rainforest.** Supervisor: Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Borges Lins e Silva.

ABSTRACT: The woody necromass stock constitutes a crucial component of the forest structure, since, besides storing large amounts of carbon, it functions as a reservoir of nutrients, acting both in the quantitative aspect and related to the ecosystem functioning. Despite its importance, there are few studies on quantification of biomass in tropical forests, due to the uncertainty regarding the best method of sampling and the minimum diameter for inclusion in the measurement. Based on this assumption, the main objective of this study was to verify the efficacy of different sampling methods (Line Intersect Sampling - LIS *versus* fixed area - FA) in a tropical forest fragment, in order to obtain the most accurate and efficient sampling method to estimate the woody necromass stock. The study was carried out at the Dois Irmãos State Park (PEDI), located at the urban perimeter of the city of Recife, state of Pernambuco, Brazil. Data collection was carried out between March and June 2016, in four permanent plots (250 m x 40 m each) set up by the Research Program on Biodiversity (PPBio), PEDI Site. Within each plot, five transects of 50 m were set up to measure wood pieces (LIS Method) in the upper area of the plot, and five plots of 10 m x 10 m (pieces with > 10 cm of diameter) and, within these, subplots of 5 m x 5 m (pieces between > 2 cm and <10 cm in diameter) (AF Method) in the bottom area of the plot. The dead wood debris were evaluated by diameter class and decomposition classes. The sampling methods tested were evaluated by descriptive statistics and relative efficiency of each method. The total estimated necromass stocks were 31.42 Mg.ha⁻¹ for the LIS method and 30.55 Mg.ha⁻¹ for FA method. The total estimated necromass stock represents 15% of the total organic matter accumulated above ground in the Park. The studied forest presented a high percentage of woody necromass, which can be explained by the large number of dead trees found in the within it. By the analysis of variance, the values of necromass of the evaluated methods did not differ statistically, however, the LIS method had higher precision and efficiency in the estimation than the FA method. In addition, the method requires lower sample intensity to meet a sample error of 15%. Therefore, it is concluded that the line intersect sampling (LIS) method is more efficient than the fixed area (AF) method.

Keywords: Fixed area, tropical forest, fallen dead wood, transect

1 INTRODUÇÃO

As florestas produzem naturalmente resíduos lenhosos, seja por meio da queda natural de detritos vegetais, tais como galhos mortos e tronco de madeira ou até mesmo de árvores inteiras (CRUZ FILHO; SILVA, 2009). Estes detritos vegetais, mais conhecidos como necromassa, constituem um componente crucial da estrutura florestal, pois, além de armazenar grandes quantidades de carbono, funcionam como reservatório de outros nutrientes no piso florestal (KELLER et al., 2004; PALACE; KELLER; SILVA, 2008), atuando tanto no aspecto quantitativo quanto relacionado ao funcionamento do ecossistema (VITAL et al., 2004).

A necromassa é a matéria orgânica morta presente em ecossistemas naturais ou antropizados, proveniente de elementos lenhosos (árvores mortas em pé e caídas, tronco e galhos mortos e fragmentos de madeira (HARMON et al., 1986; BROWN, 1997; KELLER et al., 2004; FAO, 2006). É comumente dividida em dois grupos: liteira grossa (diâmetro > 2 cm) e liteira fina ou serapilheira (diâmetro < 2 cm), sendo o primeiro dividido em árvores mortas em pé e árvores e troncos caídos (BARBOSA; SILVA; CAVALCANTE, 2009; PALACE et al., 2012).

O estoque da necromassa pode variar de 5-40% (BROWN, 1997), 10 a 20% (HOUGHTON et al., 2001) ou 20 a 40% (PALACE et al., 2012) do estoque de carbono acima do solo em florestas tropicais. Isso reforça a necessidade de inclusão deste compartimento nos inventários florestais, devido sua forte ligação com o sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, efeito estufa e com as mudanças climáticas (SMITH et al., 2004), tornando-se um atributo essencial para um manejo florestal eficiente. A liteira grossa é a responsável por grande parte do estoque de necromassa em sistemas florestais (HARMON; SEXTON, 1996).

Embora a necromassa contribua com uma porção considerável de matéria orgânica e consequentemente de carbono total acima do solo, ainda são ínfimos os estudos sobre sua quantificação e dinâmica em florestas tropicais (CLARK et al., 2002, KELLER et al., 2004, BAKER et al., 2007; PALACE et al., 2007). No Brasil, a maioria dos estudos tem sido realizada na região da Amazônia. Dentre esses, destacam-se os desenvolvidos por Barbosa (2001); Chambers et al. (2000); Keller et al. (2004); Rice et al. (2004); Baker et al. (2007); Chao et al. (2009); Cruz Filho e Silva (2009) e Silva et al. (2016). Para o bioma Mata Atlântica as pesquisas se restringem às desenvolvidas por Cunha et al. (2009); Silva (2013); Vieira et al. (2011); Cardoso et al. (2012); Ribeiro et al. (2012) e Sanquetta et al. (2014).

A restrição de trabalhos relacionados à quantificação e caracterização da necromassa acima do solo está relacionada às incertezas quanto ao método de amostragem e quanto ao diâmetro mínimo para inclusão na mensuração da necromassa lenhosa acima do solo. Alguns trabalhos mensuraram todos os resíduos com diâmetro > 2 cm (KELLER et al., 2004; RICE et al., 2004) enquanto outros, incluem somente os resíduos com diâmetro maior que 10 cm (BAKER et al., 2007), dificultando, assim, a comparação entre métodos e estoque de necromassa em distintas florestas.

É diante desse problema que estudos com outros objetivos vêm sendo desenvolvidos, voltados aos métodos de amostragem mais adequados para quantificar madeira morta. Autores como Bate et al. (2004); Gove et al. (2012); Ritter et al. (2012) e Woldendorp et al. (2004) e Proceke (2015) desenvolveram algumas de suas pesquisas estudando diferentes métodos de amostragem para diferentes biomas. Porém, para o bioma Mata Atlântica, mas especificamente para a tipologia Ombrófila Densa de Terras Baixas há carência de pesquisas com esta abordagem.

Desta forma, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estudo que permita obter um método passível de comparação com outros trabalhos e que seja eficiente e preciso para estimar o estoque de necromassa lenhosa, possibilitando obter informações relacionadas à estrutura, funcionamento e dinâmica das florestas e permitindo um maior planejamento e a valorização desses remanescentes florestais.

O presente trabalho teve como objetivo verificar a eficácia de diferentes métodos de amostragem (método da linha interceptora-LIS *versus* método de parcelas de área fixa-AF) em um fragmento de floresta tropical, a fim de obter o método de amostragem preciso e eficiente para estimar o estoque de necromassa lenhosa acima do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI), localizado no perímetro urbano da cidade de Recife, estado de Pernambuco (7°57'40" S - 8°00'52" S; 34°56'23" W - 34°57'31" W). O parque possui 1.157,7 ha, sendo 384,7 ha de floresta madura e 773,02 ha de vegetação secundária. Para a realização do estudo foi utilizada a área que abrange a floresta madura, que equivale a 1,58% da área total do município do Recife, sendo considerado um dos maiores fragmentos urbanos de Floresta Atlântica nesta região (RAMOS; ZICKEL; PIMENTEL, 2006).

2.2 TIPOLOGIA FLORESTAL, CLIMA E SOLO

A tipologia florestal predominante é a do tipo Ombrófila Densa de Terras Baixas, IBGE (2012). Este remanescente é de grande importância para a manutenção térmica e diminuição de poluentes atmosféricos da cidade do Recife, uma vez que regula a umidade atmosférica, mediante a evapotranspiração, como também sequestra CO₂ por meio da fotossíntese (COUTINHO et al., 1998; JATOBÁ, 2009).

De acordo com Coutinho et al. (1998), o clima da região é do tipo As' de Köppen, tropical costeiro ou "pseudo" tropical da costa nordestina, quente e úmido, com chuvas se distribuindo entre os meses de março a agosto, com precipitações máximas médias mensais ocorrendo em junho e julho, sempre devido às emissões da Frente Polar Atlântica. A média histórica total anual de precipitação é de 2460 mm e as temperaturas médias mensais são superiores a 23°C (INMET, 2015).

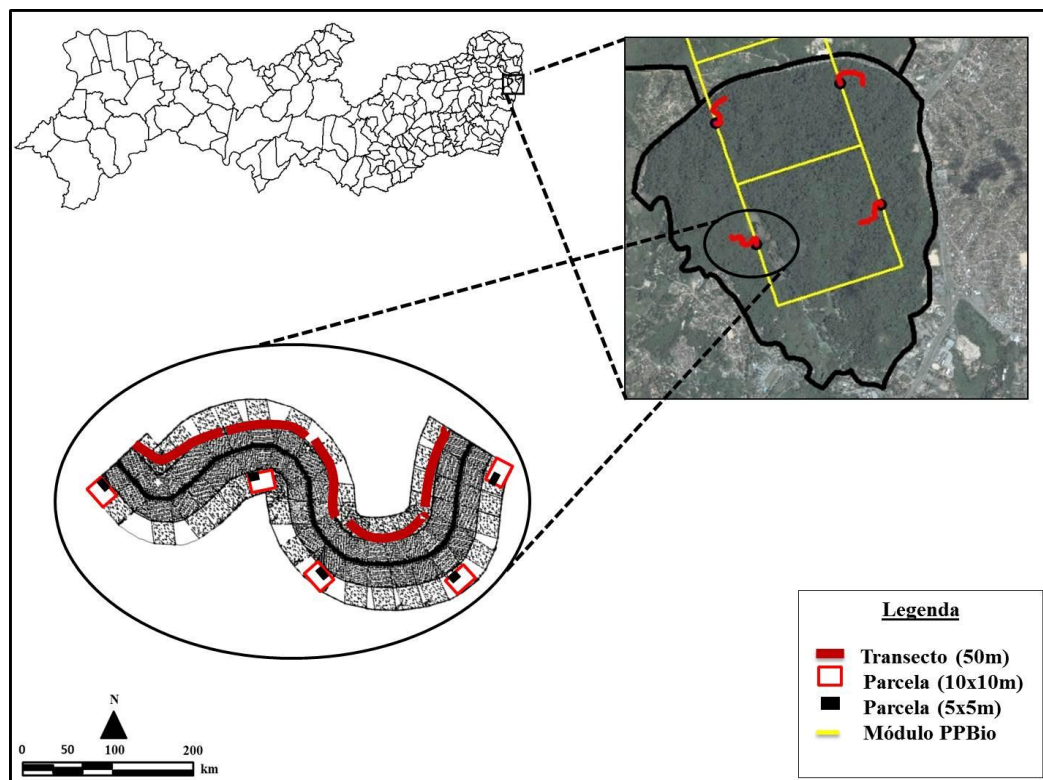
Os solos do PEDI são constituídos de associações de três grandes grupos: os latossolos amarelos, argissolos amarelos e gleissolos, variando em sua textura de arenosos a areno-argilosos, relacionado com a geologia em que está inserido, o Grupo Barreiras (COUTINHO et al., 1998; BENEDETTI et al., 2011). Os solos variam de profundos a muito profundos, com pH variando de 4 a 5 (ácido), o que se apresenta dentro do esperado para regiões de elevada precipitação (CALDAS, 2007).

2.3 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E COLETAS DE DADOS

Para amostragem da necromassa lenhosa acima do solo, foram utilizados dois diferentes métodos, o LIS (método da linha interceptora), desenvolvido por Warren e Olsen (1964) e adaptado por Van Wagner (1968), e o método AF (método da parcela de área fixa).

A coleta de dados foi realizada entre os meses de março e junho de 2016, em quatro parcelas permanentes (250 m x 40m cada) instaladas pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), Sítio PEDI. Dentro de cada parcela, foram alocados cinco transectos de 50 m (Método LIS) na parte superior, e cinco parcelas de 10 m x 10 m (Peças >10 cm diâmetro) e, dentro destas, sub-parcelas de 5 m x 5m (Peças com diâmetro >2 cm e < 10 cm) (Método AF) (Figura 1).

Figura 1. Croqui demonstrativo dos transectos e das parcelas alocadas na área de estudo, Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, PE.



Para ajuste do volume sólido obtido para cada uma das peças de madeira para os dois métodos avaliados, foram adotadas cinco classes diamétricas (BARBOSA; SILVA; CAVALCANTE, 2009), dividindo-se em peças pequenas de 2 cm a 3,9 cm; de 4 cm a 5,9 cm; de 6 cm a 7,9 cm; de 8 cm a 9,9 cm e grandes com diâmetro (\emptyset) maior que 10 cm.

Como as peças de madeira encontradas ao longo dos transectos e dentro das parcelas possuíam diferentes graus de decomposição (Figura 2), foi realizada uma categorização tátil-visual de cada uma delas seguindo o critério de Chao e Philips (2005), modificado por Barbosa, Silva e Cavalcante (2009) (Tabela 1).

Figura 2. Classificação tátil-visual das peças de madeira em três graus de decomposição: A) peças recém caídas, B) peças com leve sinal de decomposição, C) peças em estágio avançado de decomposição (Autor: FONSÊCA, N.C).



Tabela 1. Grau de decomposição utilizado para classificar madeira morta caída

Grau de Decomposição (GD)	Descrição dos graus de decomposição
GD1	Peças recém-caídas ou com alta resistência, sem nenhum sinal de ataque de insetos ou fungos.
GD2	Peças com leves sinais de ataques de insetos e fungos, geralmente peças com pequenos ocos, mas ainda com alta resistente mecânica ao toque manual.
GD3	Peças em estágio avançado de decomposição, com fracos sinais de apodrecimento em diferentes estágios que, na maioria das vezes, despedaçava ao toque manual.

Fonte: Protocolo de necromassa-PPBio (BARBOSA; SILVA; CAVALCANTE, 2009).

Para cada grau de decomposição (GD1, GD2 e GD3) foram coletadas 30 amostras com diferentes classes diamétricas estabelecidas para o cálculo da densidade básica (razão entre o peso seco e o volume saturado). Estas amostras foram coletadas por meio da retirada

de discos (5 cm) das peças de madeira com diferentes diâmetros e igualmente distribuídas ao longo de todos os transectos e parcelas instaladas.

Para evitar tendências indesejáveis, foi intercalado o grau de decomposição e de diâmetros das peças. Quando não houve peças em alguma das subcategorias diamétricas e de decomposição nas unidades amostrais, foi coletada uma (ou mais) peça dentro da subcategoria que teve o maior número de peças. Isso possui o sentido de dar maior representatividade à amostragem (BARBOSA; SILVA; CAVALCANTE, 2009).

2.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA MORTA

As densidades básicas das peças de madeira foram determinadas pelo método de imersão em água, seguindo a norma NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (2003). Este procedimento consistiu na retirada de discos (5 cm) para peças com $\varnothing \geq 2$ cm e < 10 cm e para as peças com $\varnothing \geq 10$ cm, foi retirada uma cunha. As peças foram armazenadas em sacos plásticos fechados e levadas para laboratório para medição. Em laboratório, a amostra foi imersa em recipiente para reidratar e atingir o ponto de saturação necessário à medição.

Em seguida, o disco foi mantido em descanso fora do recipiente para diminuir o excesso de água. Após essa fase, foi medido o peso do recipiente com água, em gramas. Em seguida, o disco foi medido e mergulhado no recipiente com água para determinação do volume, baseado no deslocamento do líquido provocado pela imersão do disco. Após esta fase, cada disco foi colocado em estufa à temperatura de $103^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ até atingir peso constante. Com o valor do recipiente com água e disco imerso, obteve-se o volume (cm^3) saturado em campo e, com o valor do peso seco(g), realizou-se o cálculo da densidade básica por meio da equação 1:

$$D_b = \frac{m_3}{(m_2 - m_1)} \quad (1)$$

Em que: D_b = densidade básica (g.cm^{-3}); m_3 é a massa da amostra seca em estufa a ($103^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$), em gramas; m_2 é a massa do recipiente com água e disco imerso, em gramas; m_1 é a massa do recipiente com água, em gramas.

Todos os cálculos de densidade básica da madeira foram realizados em função das classes de diâmetro e dos graus de decomposição.

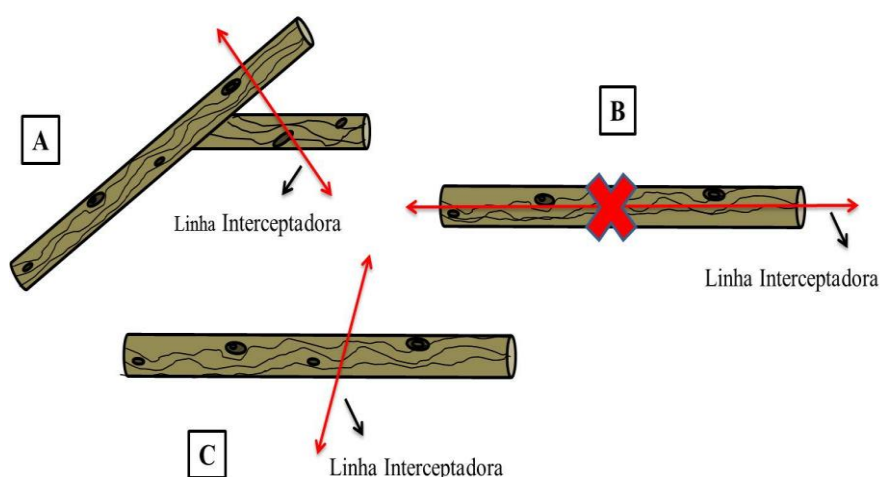
2.5 ESTIMATIVA DO ESTOQUE VOLUMÉTRICO DE MADEIRA MORTA CAÍDA

2.5.1 Método LIS (amostragem por linha interceptadora)

O método LIS tem como princípio básico medir o diâmetro de cada uma das peças de madeira que interceptam o transecto (BARBOSA; SILVA; CAVALCANTE, 2009). No presente estudo, foram instalados 20 transectos de 50 m de comprimento para amostragem das peças grandes ($\varnothing > 10$ cm) e 20 transectos de 50m para amostragem das peças pequenas ($\varnothing \geq 2$ cm e ≤ 10 cm).

Todos os transectos foram alocados seguindo a curva de nível do terreno com auxílio de um clinômetro e marcados por um alinhamento assinalado com barbante de nylon e com marcação de estacas fixas a cada 10m. Todas as peças de madeira com $\varnothing \geq 2$ cm que interceptaram os transectos tiveram seus diâmetros e grau de decomposição anotados. Nos casos em que a peça se encontrava no sentido longitudinal da linha, esta não era medida; quando a peça era interceptada duas vezes pela linha eram tomadas as duas medidas (Figura 3).

Figura 3. Esquema de inclusas ou não das peças na mensuração: A) peça inclusa, B) peça não inclusa, C) peça inclusa.



As peças de madeira foram mensuradas com uma fita centimétrica. Para as peças com grandes diâmetros e que não foi possível ser deslocada do solo para a transposição da fita, foi

realizada a retirada do solo no lugar da medição para que pudesse dar continuidade às medições sem causar erros na metodologia utilizada.

Os diâmetros mensurados foram utilizados para se calcular o volume estimado (V_{Est}) de madeira morta encontrada em campo, por meio da equação (2) de Van Wagner (1968):

$$V_{Est} = \frac{\pi^2 \times d^2}{8 \times L} \quad (2)$$

Em que: V_{Est} = volume estimado ($m^3 \cdot ha^{-1}$); d = diâmetro de cada uma das peças incluída na linha amostral; L = comprimento da linha amostral (50 m).

2.5.2 Método AF (parcela de área fixa)

O método AF consiste em alocar as parcelas na forma pré-estabelecidas, podendo ser quadradas, retangulares e circulares, sendo incluído na amostragem o material que se encontra dentro dos limites das parcelas. Um dos métodos para realizar a amostragem dentro das parcelas de área fixa é o método da cubagem rigorosa, que consiste em medir sucessivos diâmetros do fuste das árvores que estão dentro da faixa de inclusão estabelecida pelo pesquisador.

No presente estudo, foram alocadas 20 parcelas quadradas (10 m x 10m) para amostragem das peças grandes ($\emptyset > 10$ cm). Em cada uma das parcelas, foram alocadas sub-parcelas (5 m x 5m) para amostragem das peças pequenas ($\emptyset \geq 2$ cm e ≤ 10 cm), como demonstrado na figura 1, item 2.3 (pág. 52).

Para obter o volume das peças grandes e pequenas nas parcelas, foi adotado o método de cubagem rigorosa de Smalian, que consiste na medição dos diâmetros ou circunferências nas extremidades de cada seção do tronco de todas as árvores ou galhos mortos caídos, com o auxílio de uma fita centimétrica e uma trena.

O volume estimado de cada seção foi determinado por meio da equação (3) de Smalian:

$$V_{Est} = L \left[\frac{\pi(D_1/2)^2 + \pi(D_2/2)^2}{2} \right] \quad (3)$$

Em que: V_{Est} : volume estimado (m^3), L (m) = é o comprimento da peça mensurada, D = diâmetro (m), em ambas as extremidades.

Nas peças com grandes diâmetros e que não foi possível deslocar para realizar a mensuração, foi retirado o solo com auxílio de um facão e, posteriormente realizou-se a medição. Também foi registrado o nível de decomposição das peças, seguindo o critério de Chao e Philips (2005) e modificado por Barbosa, Silva e Cavalcante (2009) descrito no item 2.3, tabela 1 (pág. 52).

2.6 CÁLCULO DA NECROMASSA PARA OS DIFERENTES MÉTODOS DE AMOSTRAGEM.

Para obtenção do estoque da necromassa, realizou-se o cálculo com base no volume de cada peça de madeira mensurada em campo e a densidade básica (g.cm^3), por categoria diamétrica e grau de decomposição das peças.

A necromassa para cada peça de madeira foi obtida multiplicando-se o volume de cada categoria por suas densidades básicas (g/cm^3) (Equação 4):

$$Necr = V_{Est} * D_b \quad (4)$$

Em que: $Necr$ = Necromassa (Mg.ha^{-1}); V_{Est} = Volume estimado ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$); D_b = Densidade básica (g.cm^3).

O cálculo de necromassa total para o método da linha interceptadora e para o método de parcelas de área fixa foi obtido com o somatório de todas as massas individuais medidas por classe de diâmetro.

3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Num primeiro momento, os dados coletados em campo e os originados de práticas em laboratório para os dois métodos avaliados (LIS e AF), foram submetidos a uma análise exploratória, com objetivo de identificar os possíveis casos atípicos “*outliers*” no conjunto de dados.

Após esta etapa, realizou-se o teste de normalidade dos dados de ambos os métodos. A análise foi realizada pelo teste de Kolmogorov Smirnov, para o nível de 5% de probabilidade de erro, com o propósito de verificar se os dados seguiam distribuição normal, conforme Schneider et al. (2009), sendo que as hipóteses testadas foram: H_0 = Os dados seguem uma distribuição normal, H_1 = Os dados não seguem uma distribuição normal.

Ao realizar a análise, verificou-se que os dados para os distintos métodos seguiam distribuição normal, com $D_{LIS} = 0,2801 > 0,05$ e $D_{AF} = 0,3108 > 0,05$.

Para fins de comparação dos resultados estimados pelos diferentes métodos, foi realizada a divisão quanto aos diâmetros das peças de madeira em peças pequenas e grandes (Tabela 2).

Tabela 2. Métodos de amostragem e nível de inclusão das peças de madeira para fins de comparação, para estimativas de necromassa no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, PE

Nível de inclusão	Método LIS	Método AF
	Nº de unidade amostral	
Peças pequenas ($2 \text{ cm} < \emptyset < 10 \text{ cm}$)	20 transectos de 50 m	20 parcelas de 5x5 m
Peças Grandes ($\emptyset \geq 10 \text{ cm}$)	20 transectos de 50 m	20 parcelas de 10x10 m

Em que: \emptyset = diâmetro, LIS = método da linha interceptora, AF = método da parcela de área fixa.

Para verificar a existência de diferenças entre os valores de volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e necromassa lenhosa ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) obtidos pelos distintos métodos, realizou-se a análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade.

Em seguida, foi avaliada a precisão da amostragem, considerando-se um nível de probabilidade de erro de 5%, com erro amostral de 15%. Para efeito de comparação entre os métodos, também foi determinada a intensidade amostral para cada método de amostragem para um limite de erro de 15%. Os resultados obtidos por cada método foram analisados pelas seguintes estatísticas descritivas (Tabela 3).

Tabela 3. Estatística descritiva para análise dos métodos de amostragem para estimativa da necromassa lenhosa no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife, PE

Estatísticas	Fórmulas matemáticas
Média	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$
Variância	$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$
Desvio padrão	$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$

Continua

Continuação

Variância da média	$S_x^2 = \frac{S_x^2}{n}$
Erro padrão da média	$S_x = \pm \frac{S_x}{\sqrt{n}}$
Coefficiente de variação	$CV = \frac{S_x}{\bar{v}} * 100$
Erro de amostragem	
Erro absoluto	$E_a = \pm t * S_x$
Erro relativo	$E_r = \pm \frac{t * S_x}{\bar{x}} * 100$

Em que: n = número de unidades amostradas; x = variável de interesse (volume m³. ha⁻¹) t = valor de t da tabela de Student para nível de probabilidade de 95% ($\alpha = 0,05$).

Por último e visando mensurar a eficiência dos métodos de amostragem, foram cronometrados os tempos totais desde a instalação das parcelas e dos transectos até a mensuração da última peça de madeira caída. Após a obtenção do tempo cronometrado para as unidades amostrais de cada método, realizou-se o cálculo da eficiência relativa (MIRANDA et al., 2015), considerando o coeficiente de variação dos métodos de amostragem, com o propósito de se obter o método mais eficiente para estimar a necromassa lenhosa acima do solo, sendo calculada pela equação 5:

$$ER = \frac{1}{T_i * CV^2} \quad (5)$$

Em que: ER = Eficiência relativa; Ti = Tempo de alocação e medição das variáveis nas unidades amostrais (horas); CV = Coeficiente de variação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PEÇAS PEQUENAS

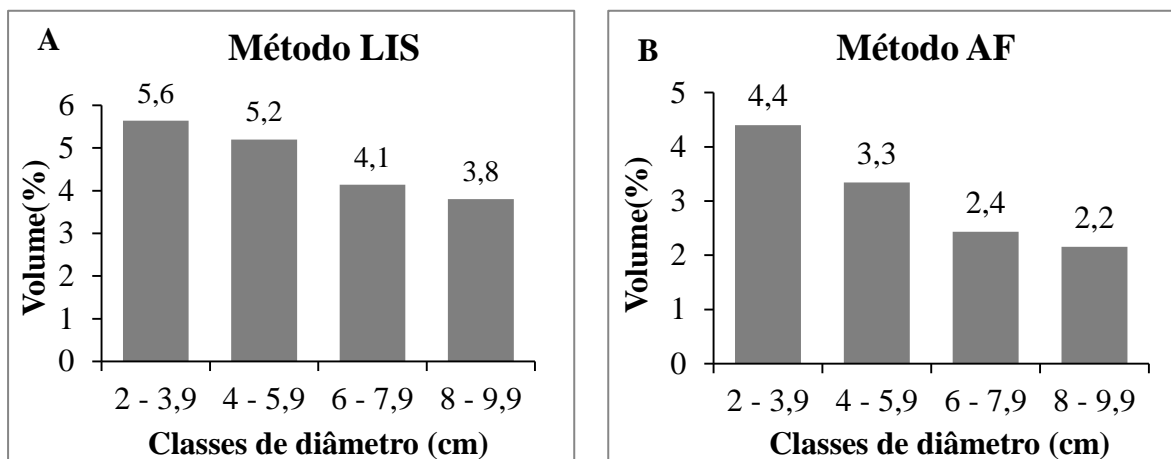
Utilizando os dois métodos de amostragem (LIS *versus* AF), foram mensuradas 924 peças de madeira morta caída. O método LIS, com 1000 m amostrados, mensurou 62% (n= 578) de todas as peças avaliadas, obtendo volume médio de 12,56 m³. ha⁻¹. No método AF,

em uma área amostral total de 500 m², foram contabilizados 346 (38%) de peças e volume médio de 12,33 m³. ha⁻¹.

Considerando os resultados supracitados, realizou-se a análise de variância (ANOVA) dos volumes (m³. ha⁻¹) obtidos por cada método. A análise de variância apontou não haver diferença significativa ($p < 0,05$, com $F = 0,010$) para as estimativas de volume de madeira morta pelos dois métodos avaliados na pesquisa.

Analisando o volume (m³. ha⁻¹) em percentagem para as classes de diâmetro adotadas na pesquisa, verificou-se que para os distintos métodos, os resultados seguiram o mesmo padrão, com a menor classe obtendo a maior contribuição para o estoque volumétrico (Figura 4).

Figura 4. Volume (m³. ha⁻¹) por classes de diâmetro para os distintos métodos. A) LIS = amostragem por linha interceptora B) AF = amostragem por parcela de área fixa.



A maior porcentagem de volume (m³. ha⁻¹) na menor classe de diâmetro para os dois métodos é explicado pela elevada quantidade de galhos finos encontrado na floresta.

4.1.1 Grau de decomposição das peças de madeira morta caída

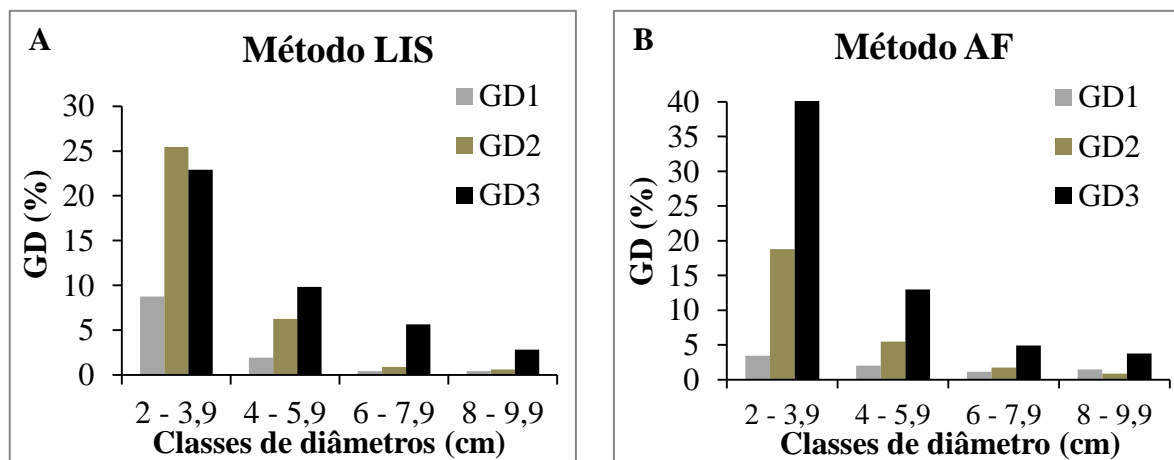
No presente estudo, verificou-se que a maior porcentagem do volume de madeira na floresta está no grau avançado de decomposição (GD3), como demonstrado pelos distintos métodos, podendo indicar que a área sofreu eventos naturais ou antropizados consideráveis de mortalidade de árvores. Este resultado difere do encontrado por Keller et al. (2004), no qual a maior parte da liteira grossa estava presente nas classes iniciais de decomposição.

Para o método LIS, a classe de decomposição final apresentou volume de 7,05 m³. ha⁻¹ o que representa 56,2 % do volume total, já as classes intermediária (GD2) e inicial (GD1)

foram de $4,84 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (38,5%) e $0,67 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (5,3 %), respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados pelo método AF, com GD3 representando 70 % ($8,60 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), seguido do GD2 e GD1, perfazendo um total de 3,0 (24%) e $0,73 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (6,0%).

Ao analisar o grau de decomposição por classes de diâmetro para ambos os métodos, verificou-se que a menor classe (2-3,9 cm) representou para o método LIS 57% e, para o AF, 66 % de todas as peças de madeira morta amostrada na floresta (Figura 5).

Figura 5. Grau de decomposição (GD) por classes de diâmetro para os distintos métodos. A) LIS= Amostragem por linha interceptora B) AF = Amostragem por parcela de área fixa.



O grau de decomposição GD3 foi superior em todas as classes, com exceção da menor classe (2-3,9 cm) no método LIS, na qual predominou o GD2. Esses resultados demonstram que a floresta em estudo está em constante liberação de nutrientes para o solo, haja vista que mais de 50% das peças de madeira estão no estágio avançado de decomposição (GD3).

De acordo com Silva et al. (2009), a morte das árvores e o processo de decomposição são importantes aspectos para entender o funcionamento e a dinâmica dos ecossistemas florestais. Desse modo, pode-se aferir que a presença de mais peças ou indivíduos em grau avançado de decomposição está diretamente relacionado com as interações físicas e processos químicos que ocorrem dentro e fora dos organismos vivos, causando a quebra dos materiais orgânicos e um decréscimo na sua massa, transformando-os em nutrientes inorgânicos e CO_2 para atmosfera e nutrientes em formas que podem ser usadas pelas plantas.

4.1.2 Densidade básica da madeira morta caída

A densidade básica da madeira morta é uma variável de difícil mensuração, tendo como principal entrave a obtenção da densidade das peças que estão em grau avançado de

decomposição. Poucos trabalhos têm estimado densidades para os distintos graus de decomposição (KELLER et al., 2004; BAKER et al., 2007). Atualmente, para as florestas atlânticas existem somente as densidades estimadas por Veiga (2010), que apresentou o mesmo padrão das densidades estimadas pelo presente trabalho, com peças em estágio inicial (GD1) apresentando maior densidade, seguido pelo grau intermediário e final de decomposição (Tabela 4).

Tabela 4. Densidade básica média da madeira morta para os diferentes graus de decomposição mensurados na floresta

Grau de decomposição	Densidade (g.cm ⁻³)
GD1	0,6858 (0,02)
GD2	0,5659 (0,02)
GD3	0,4252 (0,03)

Em que: GD_{1,2,3} = grau de decomposição. Entre parênteses após os valores de densidade estão os desvios padrões.

Peças de madeira morta em estágio avançado de decomposição possuem densidade mais baixa do que madeiras com estágio inicial de decomposição (KELLER et al., 2004; BAKER et al., 2007; VEIGA, 2010). Esse resultado já é esperado, pelo fato de que o material quanto mais decomposto tende a ter uma massa menor e um maior volume, devido ao afrouxamento das fibras por decomposição, resultando numa densidade cada vez menor com aumento do grau de decomposição. Assim, florestas com alta taxa de decomposição estão propícias a possuírem uma menor quantidade de volume estocado e, conseqüentemente, um menor acúmulo de necromassa.

4.1.3 Estoque de necromassa lenhosa caída

A necromassa lenhosa estimada para as peças pequenas foram semelhantes nos dois métodos. O método LIS estimou 6,20 Mg.ha⁻¹ e o método AF estimou 5,90 Mg.ha⁻¹. Esses resultados não diferiram estatisticamente pela análise de variância ($p < 0,05$, com $F = 0,006$).

Estudos têm mostrado que o estoque de necromassa obtido para as classes consideradas de pequenos diâmetros ($2 < \emptyset > 10$ cm) variam de 4 a 9 Mg.ha⁻¹ e representam cerca de 12-21% do total de madeira morta em uma floresta (NASCIMENTO; LAURANCE, 2002; PALACE et al., 2007).

Na Amazônia, estima-se que o compartimento de madeira morta com diâmetro <10 cm é responsável por 12% do total de necromassa caída (RICE et al., 2004). Pauletto (2006), ao quantificar o estoque de necromassa dos resíduos mais finos ($2 < \emptyset > 10$ cm) em duas áreas de floresta com características distintas (explorada e não explorada) obteve para a área explorada 14% do estoque total, seguida da floresta não explorada, com 7% da necromassa lenhosa.

Esses resultados ressaltam a importância da inclusão dessas classes de diâmetro nos inventários para quantificação da necromassa, considerando que a não inclusão desses compartimentos podem ocasionar na subestimativa de até 20% do estoque de carbono total em uma floresta tropical.

4.2 PEÇAS GRANDES

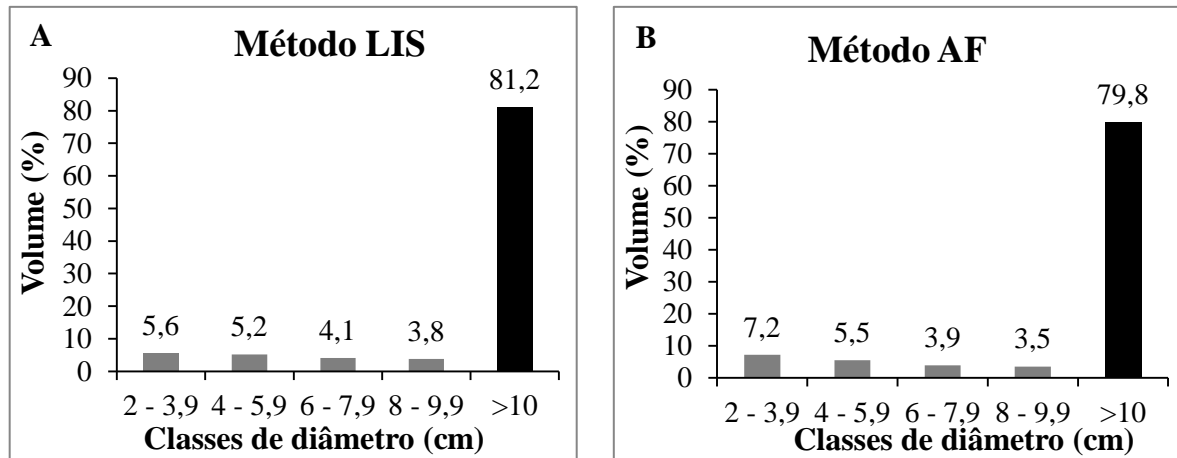
Na área de estudo, foram encontradas 167 peças de madeira com diâmetro maior que 10 cm. O método de amostragem por linha interceptora mensurou 56,28% do total de indivíduos ($n=94$), obtendo volume médio de $51,58 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, enquanto que no método de área fixa, foram contabilizados 73 indivíduos (43,72%) e volume médio de $47,80 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Pela análise da variância não teve diferença significativa entre os valores de volumes ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) estimados pelos métodos, com $p < 0,05$, com $F = 0,040$.

O estoque volumétrico de madeira morta caída encontrada para os distintos métodos foram bem menores que o encontrado por Rice et. (2004) para a floresta amazônica, sendo $151,7 (\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1})$ para o método da parcela fixa e $164,2 (\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1})$ para o método de amostragem por linha interceptadora. O baixo estoque volumétrico encontrado pode ser explicado pela diferença da biomassa em diferentes tipologias florestais, pois de acordo com Chao et al. (2009), as florestas com maior quantidade de biomassa aérea apresentam, linearmente, maiores acúmulos de madeira morta.

Ao comparar o estoque volumétrico total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) obtidos para todas as classes diamétricas, verificou-se que o componente madeira morta caída com $\emptyset \geq 10$ cm foi a que mais contribuiu para o estoque volumétrico, para ambos os métodos, representando 81,2 % para o método LIS e 79,8 % para o método AF (Figura 6).

Figura 6. Estoque volumétrico ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) por classes de diâmetro, A) LIS = amostragem por linha interceptora B) AF = amostragem por parcela de área fixa.



De acordo com Pauletto (2006), os resíduos lenhosos com diâmetros maiores que 10 cm são os principais componentes da liteira grossa em florestas amazônicas, representando até 92,5% do estoque total. O alto estoque de necromassa pode estar relacionado ao fato de que 80% da biomassa acima do solo são compostos por árvores com diâmetro acima de 10 cm (NASCIMENTO; LAURANCE, 2002) e também porque a biomassa total é representada, em grande parte, por poucas e grandes árvores (BROWN et al., 1995). Nas florestas atlânticas as árvores com diâmetros > 30 cm representam 6% de todos os indivíduos e contribuírem com 72% da biomassa total e, conseqüentemente contribui com maior estoque de necromassa nessas florestas (LINDNER, 2010).

4.2.1 Grau de decomposição das peças de madeira morta caída

A porcentagem do volume em cada classe de decomposição indica que a maior parte do volume de madeira morta caída tem elevado grau de decomposição, que condiz com o grau (GD3), representando mais de 70% do total.

No método LIS, a classe de decomposição final apresentou volume de $41,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ o que representa 79,8 % do volume total. As classes intermediária (GD2) e inicial (GD1) foram de $4,8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (9,6 %) e $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (10,6%), respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados pelo método AF, com GD3 representando 74 % ($35,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), seguido do GD2 e GD1, perfazendo um total de 7,2 (15%) e $5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (11%). Chao et al. (2009) dividiram a necromassa em três classes de decomposição (C1, C2 e C3) e obtiveram resultados diferentes, com a classe intermediária (C2) indicando maior quantidade de necromassa ($15,2$ e $39 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), seguido da classe inicial ($10,1$ e $18,4 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

e final (2 e 1,1 Mg.ha⁻¹) nas regiões do noroeste e nordeste da Amazônia, respectivamente. Cardoso et al. (2012) observaram em estudo realizado em Floresta Ombrófila Mista de Santa Catarina a maior parte do volume se concentrava no estágio avançado de decomposição, e a menor parte do volume em estágio inicial de deterioração.

O resultado do presente estudo foi o mesmo encontrado por Silva et al. (2016), que ao quantificar o estoque de madeira morta na Amazônia, observou que a maior parte do volume se concentrava na classe final de decomposição (69,1%) e a menor parte por material lenhoso em estágio inicial de deterioração (13,9%). De acordo com Luccas (2011), a grande quantidade de peças ou indivíduos em graus avançados de decomposição pode indicar que a área sofreu eventos consideráveis de mortalidade.

4.2.2 Necromassa lenhosa caída

A necromassa lenhosa acima do solo estimada para as peças grandes foi de 25,22 Mg.ha⁻¹ para o método LIS e 24,65 Mg.ha⁻¹ para o método AF. Esses resultados não diferiram estatisticamente pela análise de variância ($p < 0,05$ e $F = 0,004$).

A necromassa estimada manteve-se relativamente abaixo do registrado em outros trabalhos realizados em florestas amazônicas: Rice et al. (2004) encontraram estoque de 48 Mg.ha⁻¹; Keller et al. (2004) de 55,2 Mg.ha⁻¹ e 66,2 Mg.ha⁻¹ e Chao et al. (2009) de 58,5 Mg.ha⁻¹ para necromassa lenhosa caída. O menor estoque de necromassa quando comparado com as florestas amazônicas, é explicado pelo fato das florestas do bioma mata atlântica possuírem menor número de indivíduos por hectare e um menor número de árvores com mais de 50 cm de diâmetro que as florestas amazônicas.

Ao relacionar o estoque de necromassa lenhosa estimada para as peças pequenas e para as peças grandes por ambos os métodos com a biomassa arbórea acima do solo (177,8 Mg.ha⁻¹, dados não publicados), verificou-se que, na floresta em estudo, o estoque de madeira morta caída responde por cerca de 15% (LIS) e 14,66% (AF) da biomassa total acima do solo.

Pesquisas realizadas em distintas florestas têm demonstrado que a necromassa lenhosa representa de 6-25% do total de biomassa acima do solo (DELANEY et al., 1998; CLARK et al., 2002; NASCIMENTO e LAURANCE 2002; RICE et al., 2004; CHAO et al., 2008).

Esse resultado mostra a importância da inclusão da necromassa lenhosa acima do solo em pesquisas relacionadas ao estoque de carbono, principalmente quando se refere a florestas tropicais, onde o componente madeira morta pode corresponder até 40% do carbono encontrado acima do solo (PALACE et al., 2012), servindo como um componente crucial para

conhecer a estrutura da florestal, além de funcionar como um reservatório de nutrientes acima do solo.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM (LIS *VERSUS* AF)

Nesta pesquisa, os dois métodos avaliados não apresentaram diferença estatística quanto às estimativas de volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e necromassa lenhosa ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Todavia, foram observadas diferenças quanto à precisão nas estimativas por meio da análise descritiva apresentada na tabela 5.

Tabela 5. Estatísticas de comparação para os métodos de amostragem em linha interceptora (LIS) e de área fixa (AF) para a floresta em estudo

Estatísticas descritivas	Métodos		Métodos	
	(LIS)	(AF)	(LIS)	(AF)
	Peças pequenas		Peças grandes	
	Transecto 50 m	Parcela 5 m x 5 m	Transecto 50m	Parcela 10 m x 10 m
Nº de unidades amostrais	20	20	20	20
Área amostrada (ha)	-	0,05(ha)	-	0,2(ha)
Volume médio ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	12,56	12,33	51,58	47,80
Variância ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	33,38	73,67	2584,28	2341,61
Desvio Padrão ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	5,77	8,58	50,83	48,39
Variância da média	1,66	3,68	129,21	117,08
Erro padrão da média	1,29	1,91	11,36	10,82
Coefficiente de variação (%)	46	70	99	101
Erro de amostragem Absoluto ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	2,23	3,31	19,65	18,70
Erro relativo (%)	17,77	26,89	38,10	39,13

Na presente pesquisa, foram definidos limites de erros de 15%, mas a intensidade amostral não foi atendida para os métodos avaliados, ocasionando erros de amostragem maiores do que os limites preestabelecidos. Tais erros podem ser explicados por dois motivos: o número de unidades amostrais utilizado foi menor do que o necessário para captar a variabilidade do local e o espaçamento irregular das peças de madeira morta na área fez com que existissem locais com baixa densidade de indivíduos e outros com alta densidade,

ocasionando aumento do erro amostral. Os menores erros de amostragem foram para as peças pequenas com o método LIS (erro de 17,77 % para 20 unidades amostrais), sobressaindo em relação ao método AF (erro de 26,89 %). Para as peças grandes, os erros aumentaram, mas o método LIS também obteve o menor erro (38,10%).

Notou-se um alto valor dos coeficientes de variação para os dois métodos de amostragem, indicando que o estoque de resíduos lenhosos não é distribuído de forma homogênea dentro da floresta em estudo, necessitando de uma maior intensidade amostral para atingir erro admissível.

Na perspectiva de obter o erro aceitável para os distintos métodos de amostragem, realizou-se o cálculo do número ótimo de unidades amostrais necessários para o erro de 15% (Tabela 6).

Tabela 6. Intensidade amostral estimada para um limite de erro de 15% para os dois métodos de amostragem analisada no Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI)

Intensidade amostral	Peças pequenas		Peças grandes	
	Métodos		Métodos	
	LIS	AF	LIS	AF
Coefficiente de variação (%)	46	70	99	101
Erro relativo (%)	17,77	26,89	38,10	39,13
Nº de unidades amostrais necessárias para o erro de 15%	28	65	130	135

Com base nos resultados (ver tabela 6), o método LIS foi mais preciso que o método de área fixa, possuindo menor erro relativo e, conseqüentemente menor número de unidades amostrais para alcançar o erro admissível estipulado na presente pesquisa, além de obter menor coeficiente de variação para os dois níveis de inclusão.

Woldendorp et al. (2004), avaliando diferentes métodos de amostragem, observaram que o coeficiente de variação (CV) do volume de necromassa é elevado e altamente relacionado à intensidade amostral. Para o método de amostragem com unidades amostrais quadradas menores (100 m²) o CV foi mais elevado (240%) se comparado com unidades amostrais quadradas maiores (2500 m²) com 33% de coeficiente de variação.

Para o método de amostragem LIS, o CV diminuiu conforme o comprimento da linha aumenta, variando de 360% para linha de 10 m e 135% em linha de 80 m. Woldendorp et al.

(2004), ressaltam que para chegar a um CV baixo é necessária uma grande intensidade amostral para ambos os métodos.

De acordo com Cardoso et al. (2012), a intensidade amostral diminui com o aumento do comprimento da linha. Para as florestas estudadas no estado de Santa Catarina, a redução da intensidade amostral foi em torno de 32% entre linhas de 10 m e 20 m considerando ambos os erros amostrais, e para florestas no Paraná, observando os mesmos comprimentos de linhas e erros amostrais, a intensidade de amostragem reduziu cerca de 20%.

O método LIS se mostrou mais preciso e eficiente que o método AF. A eficiência foi comprovada ao realizar o cálculo da eficiência relativa, em que ao cronometrar o tempo gasto em campo, com o propósito de obter o método mais eficiente, verificou-se que o método LIS foi o que apresentou o menor tempo quando comparado com o método da área fixa, com 3 horas e 56 minutos para as peças pequenas e 1 hora e 26 minutos para as peças grandes.

A eficiência relativa para os métodos por nível de inclusão está apresentada na tabela 7, sendo que o método que apresentou o maior valor foi o mais eficiente.

Tabela 7. Eficiência relativa para comparação dos métodos de amostragem em linha interceptora (LIS) e de área fixa (AF)

Nível de inclusão	Métodos	Tempo (horas)	CV%	ER
Peças pequenas (2 cm \varnothing <math><10</math> cm)	LIS	15,06	46	3,13
	AF	19,0	70	1,07
Peças grandes (<math>\varnothing 10<="" \geq="" cm)<="" math>="" td=""> <td>LIS</td> <td>8,41</td> <td>99</td> <td>1,21</td> </math>\varnothing>	LIS	8,41	99	1,21
	AF	9,85	100	1,01

Em que: CV = Coeficiente de variação (%); ER = Eficiência relativa (%).

O método que apresentou maior valor para ambos os níveis de inclusão foi o LIS. A eficiência do método está relacionada ao coeficiente de variação que foi menor quando comparado ao método AF e também por apresentar menor tempo em campo, fatores que influenciaram diretamente na sua eficiência relativa.

De acordo com Palace et al. (2007), o método de amostragem por linha interceptadora é seis vezes mais eficiente que o método de área fixa e leva cerca de um terço do tempo e metade da equipe no campo, haja vista que, o método de área fixa requer maior movimentação do que o método de linha interceptadora e, por isto, torna-se mais dificultoso em floresta densa (PALACE et al., 2012).

No entanto, deve-se ter o cuidado na escolha do melhor método, pois depende do objetivo do inventário e das condições da floresta (BATE et al., 2004). Além disso, na escolha do método, a eficiência não deve ser o único parâmetro a ser levado em consideração, pois em inventários que necessitem de um alto rigor quantitativo, opta-se pelo método mais preciso, e para inventários estratégicos ou de levantamento rápido de estoque, pode optar-se pelos métodos menos convencionais, ou por aquele que apresente maior eficiência (MIRANDA et al., 2015).

5 CONCLUSÕES

Dentre as duas metodologias propostas na presente pesquisa, o método LIS obteve maior precisão para estimar a necromassa lenhosa, todavia, exige elevada intensidade amostral para atender erro amostral de 15%. Além disso, o método foi mais eficiente que o método de área fixa - AF, haja vista que proporcionou menor tempo em campo, fator que levou a considerar como sendo o método apropriado para florestas tropicais.

O método LIS estimou um estoque total de necromassa de 31,42 Mg.ha⁻¹ para o PEDI, o que demonstra que a floresta em estudo está com alto percentual (15%) de matéria orgânica total acumulada, o que pode ser explicado pelo alto nível de perturbação antrópica, causando o aumento na mortalidade de árvores na floresta. Considerando o grau de decomposição das peças de madeira, o estágio final de decomposição (GD3) foi o que predominou em todas as classes de tamanho adotado nesta pesquisa.

Quanto à contribuição das peças de madeira morta na floresta, as peças consideradas pequenas, representaram cerca de 20% do volume total de necromassa lenhosa na floresta, demonstrando a importância desse nível de inclusão nos inventários florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, E.; DUQUE, A.; SALDARRIAGA, J.; CABRERA, K.; DE LAS SALAS, G.; DEL VALLE, I.; LEMA, A.; MORENO, F.; ORREGO, S.; RODRÍGUEZ, L. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 267, p.297-308, 2012.
- AGUIAR, M. M. B. **Sucessão florestal em cronosequência na floresta atlântica: Capacidade de resiliência e influência do meio**. 2016. 60f (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, 2016.
- ALVES, D.; SOARES, J.V.; AMARAL, S.; MELLO, E.; ALMEIDA, S.; SILVA, O. F.; SILVEIRA, A. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon, **Global Change Biology**, Toulouse-France, v. 3, p. 451–461, 1997.
- ALVES, L. F.; SCARANELLO, M.A.; CAMARGO, P.B.; SANTOS, F.A.M.; JOLY, A.C.; MARTINELLI, L.A. Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, n. 3, p. 679–691, 2010.
- ANDERSON-TEIXEIRA, K.J.; WANG, M.M.H.; GARVEY, J.C.M.C.; BAUER, D.L. Carbon dynamics of mature and regrowth tropical forests derived from a pantropical database (TropForC-db), **Global Change Biology**, Toulouse-France, v. 22, p.1690–1709, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**. Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 6 p. 2003.
- BAKER, T.R.; CORONADO, E.N.H.; PHILLIPS, O.L.; MARTIN, J.; VAN DER HEIJDEN, G.M.F.; GARCIA, M.; ESPEJO S.J. Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest. **Oecologia**, Berlin, v. 152, n. 3, p.495–504, 2007.
- BARBOSA, R. I.; SILVA, L. F. S. G.; CAVALCANTE, C. O. **Protocolo de Necromassa: estoque e produção de liteira grossa. PPBIO – Programa de Pesquisa em Biodiversidade. Ministério da Ciência e Tecnologia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Boa Vista, 24p, 2009.
- BARBOSA, R.I. **Savanas da Amazônia: Emissão de Gases do Efeito Estufa Material Particulado Pela Queima e Decomposição da Biomassa Acima do Solo, sem a Troca do Uso da Terra, em Roraima**, Brasil. Manaus: Inpa. 236 p. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) INPA/FUA, Manaus, AM. 2001.
- BATE, L. J.; TORGERSEN, T. R.; WISDOM, M. J.; GARTON, E. O. Performance of sampling methods to estimate log characteristics for wildlife. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.199, p.83–102, 2004.
- BENEDETTI, M. M.; CURI, N. ; SPAROVEK, G. ; CARVALHO FILHO, A. ; SILVA, S. H. G. **Updated Brazilian's georeferenced soil database - an improvement for international scientific information exchanging**. Embrapa, v. 1, p. 309-332, 2011.

BEZERRA, M.G.C. **Transformações espaço-temporais da mata de Dois Irmãos a partir da avaliação dos processos de apropriação do espaço**. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

BOX GEP; COX DR. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**, London v. 26, p. 211-252, 1964.

BROWN, I.F.; MARTINELLI, L.A.; THOMAS, W.W.; MOREIRA, M.Z.; FERREIRA, C.A.C.; VICTORIA, R.L. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests – an example from Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.75 n. 3, p. 175-189, 1995.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer. Roma: **FAO Forestry Paper**, Rome, v.134, 55p. 1997.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Bethesda, v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.

BROWN, S.; LUGO, A.E. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in global carbon cycle. **Biotropica**, Washington, v. 14, p. 161-187, 1982.

BURGER, D. M. **Modelos alométricos para a estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar**. 2005. 112 Doutorado em Ciências (Tese). Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BURGER, D.M. **Fitomassa e mineralomassa da Mata Ciliar do Rio Mogi Guaçu**, Itapira, SP. 1997. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BURGER, D. M.; DELITTI, W.B.C. . Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 8, p. 131-136, 2008.

CALDAS, A.M. **Solos, antropização e morfometria da microbacia do Prata**, Recife – PE. (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural. 2007.

CARDOSO, D. J.; VIBRANS, A. C.; LINGNER, D. V. Inventário da necromassa florestal caída no chão nos remanescentes florestais de Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. (Ed.). **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**, Blumenau: FURB, p.217– 227, 2012.

CARVALHO, J. L. N., AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N. MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.277-290, 2010.

CHAMBERS, J.Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J.P., et al. “Decomposition and Carbon Cycling of Dead Trees in Tropical Forests of the Central Amazon”, **Oecologia**, Berlin, v. 122, p. 380–388, 2000.

CHAO, H.J.; PHILLIPS, O. **Field manual for mode of Death Census. PAN-AMAZONIA (Project for Advancement of Networked Science in Amazonia.** Sixth Framework Programme (2002-2006), 12p, 2005.

CHAO, K.J.; PHILLIPS, O.L.; BAKER, T.R. **Wood density and stocks of coarse woody debris in a northwestern Amazonian landscape, Journal of Forest Research, Canadian,** v. 38, p. 795–805, 2008.

CHAO, K.J.; PHILLIPS, O.L.; BAKER, T.R.; PEACOCK, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; VASQUEZ MARTINEZ, R.; MONTEAGUDO, A.; TORRES-LEZAMA, A. After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. **Biogeosciences** v. 6, p.1615-1626, 2009.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, C.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J.Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, P.P.; NELSON, B.W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIERA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, Berlin, v. 145, n.1, p. 87-99, 2005.

CHAVE, J.; CONDIT, R.; AGUILAR, S.; HERNANDEZ, A.; LAO, S.; PEREZ, R. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. **The Royal Society**, Toulouse-France, v. 359, p. 409-420, 2004.

CHAVE, J.; MÉCHAIN, M.R.; BÚRQUEZ, A.; CHIDUMAYO, E.; COLGAN, M.S.; DELITTI, W.B.C.; DUQUE, A.; EID, T.; FEARNSIDE, P.M.; GOODMAN, R.C.; HENRY, M.; YRÍZAR, A.M.; MUGASHA, W.A.; LANDAU, H.C.M.; MENCUCCINI, M.; NELSON, B.W.; NGOMANDA, A.; NOGUEIRA, E.M.; MALAVASSI, E.O.; PÉLISSIER, R.; PLOTON, P.; RYAN, C.M.; SALDARRIAGA, J.G.; VIEILLEDENT, G. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, Toulouse-France, v. 20, p. 3177-3190, 2014.

CHENG, C.; WANG, R., JIANG J. Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan Island, China. **Journal of Environmental Sciences**. Los Angeles, v.19, p.348-352, 2007.

CLARK, D.B.; CLARK, D.A.; BROWN, S.; OBERBAUER, S. F.; VELDKAMP, E. Stocks and Flows of Coarse Woody Debris Across a Tropical Rain Forest Nutrient and Topography Gradient, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 164, p. 237–248, 2002.

CLEVELARIO JÚNIOR, J. **Distribuição de carbono e de elementos minerais em um ecossistema florestal tropical úmido baixo-montana.** Viçosa, MG. 1996. 135f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

CONFERÊNCIA DE QUIOTO. **Protocolo de Quioto.** 1997. Disponível em: <<http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmlima/pdfs/Protocolo - Quioto.pdf>>. Acesso em: 30 de março. 2016.

CORROW, A.L. **Double sampling for coarse woody debris estimations following line intersect sampling**. 2007. 57p Tese (Master of Science) - Western Washington University, Washington, 2007.

COUTINHO, R. Q.; LIMA FILHO, M.F.; SOUZA NETO, J.B.; SILVA, E.P. Características Climáticas, Geológicas, Geomorfológicas e Geotécnicas da Reserva Ecológica de Dois Irmãos. In: **Reserva Ecológica de Dois Irmãos: Estudos em um remanescente de Mata Atlântica em área urbana (Recife-Pernambuco-Brasil)**. Machado, C. I.; LOPES, V. A.; PÔRTO, C. K. (orgs.). Recife, Ed. Universitária, UFPE. p. 21-49. 1998.

CPRH. **Plano de manejo-Parque Estadual de Dois Irmãos**. Recife, 193p, 2014.

CRUZ FILHO, D.; SILVA, J.N.M. (2009). Avaliação da quantidade de resíduos lenhosos em floresta não explorada e explorada com técnicas de redução de impactos, utilizando amostragem por linha interceptadora, no Médio Mojú, Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n. 3, p.527–532, 2009.

CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; VELLOSO, A.C.X. Biomassa e Estoque de Carbono e Nutrientes em Florestas Montanas de Mata Atlântica na região Norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.33, p.1175 – 1185. 2009.

DELANEY, M.; BROWN, S.; LUGO, A. E.; LEZARNA, A. T.; QUINTERO, N. B. The quantity and turnover of dead wood in permanent forest plots in six life zones of Venezuela. **Biotropica**, Washington, v. 30, n. 1, p. 2-11, 1998.

DELITTI, W. B. C.; BURGER, D. M. Atlantic forests biomass estimates, Brazil. In: THE EARTH'S CHANGING LAND GCTE-LUCC OPEN SCIENCE CONFERENCE ON GLOBAL CHANGE. **Abstracts**. Barcelona, p. 341, 1998.

DINIZ, A.R.; MACHADO, D.L.; PEREIRA, M.G.; BALIEIRO, F.C.; MENEZES, C.E.G. Biomassa, estoques de carbono e de nutrientes em estádios sucessionais da Floresta Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.10, n.3, p.443-451, 2015.

EATON, J.M., LAWRENCE, D. Woody debris stocks and fluxes during succession in a dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 232, p. 46 – 55. 2006.

FAYOLLE, A.; DOUCET, J.L.; GILLET, J.F.; BOURLAND, N.; LEJEUNE, P. Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon Stocks, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 305, p. 29–37, 2013.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global forest resources assessment 2005**. Roma: FAO Forestry Paper, 147p, 2006.

FAO. **Global Forest Resources Assessment Main report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 344, 2010, ISBN 978-92-5-106654-6. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>>. Acesso em: 16 de fevereiro, 2016.

FEARNSIDE, P. M. Climate change and the Amazon: tropical dams emit greenhouse gases. **ReVista**, Harvard, v. 12, n. 2, p. 30-31, 2013.

FEARNSIDE, P. M. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 46, p.115–158, 2000.

FERRAZ, A. S.; SOARES, V.P.;SOARES, C.P.B.; RIBEIRO,C.A.A.; BINOTI,D.H.B.; LEITE,H.G. Estimativa do Estoque de Biomassa em um Fragmento Florestal Usando Imagens Orbitais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 286-296, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2012 – 2013. Relatório Parcial**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica / INPE, 61p. 2014.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I.G. Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. In: GALINDO LEAL, C. & CÂMARA, I. G. (Eds.). **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Fundação SOS Mata Atlântica/Conservação Internacional, São Paulo/Belo Horizonte, p. 3-11. 2005.

GOVE, J. H.; DUCEY, M. J.; VALENTINE, H. T.; WILLIAMS, M. S. Forest Ecology and Management A distance limited method for sampling downed coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.282, p.53–62, 2012.

GURUNG, M.B.; BIGSBY, H.; CULLEN, R.; MANANDHAR, U. Estimation of carbon stock under different management regimes of tropical forest in the Terai Arc Landscape, Nepa, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 356, p.144–152, 2015.

HARMON, M. E.; SEXTON, J. **Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems**. Publication n° 20. U.S. Long-term Ecological Research. (LTER) Network office, 463 University of Washington, Seattle, Washington, USA, 74p, 1996.

HARMON, M.E.; FRANKLIN, J.F.; SWANSON, F.J.; SOLLINS, P.; GREGORY, S.V.; LATTIN, J.D.; ANDERSON, N.H.; CLINE, S.P.; AUMEN, N.G.; SEDELL, J.R.; LIENKAEMPER, G.W.; CROMACK, K.; CUMMINS, K.W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. **Advances in Ecological Research**, London, v. 15, p. 133–302, 1986.

HENRIQUES, F. S. The uncertain future of tropical Forests. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.33, n.2, p.265-271, 2010.

HENRY, M.; BESNARD, A.; ASANTE, W.A.; ESHUN, J.; ADU-BREDU, S.; VALENTINI, R.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRE, L. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, p.1375–1388, 2010.

HIGAR, R. C. V.; CARDOSO, D.J.; ANDRADE, G.C.; ZANATTA, J.A.; ROSSI, L.M.B.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M.L.F.; GARRASTAZU, M.C.; VASCONCELOS, S.S.; SALIS, S.M. Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal. **Embrapa Florestas**, Colombo, v. 266, 2014.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, p. 125-145, 1994.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. **Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia**. Em: Emissão x Sequestro de CO₂ - Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil. Manaus, p. 125-153, 1995.

HIGUCHI, N.; RIBEIRO.J.F.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, AM, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.

HOUGHTON, R. A. Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 19, p. 99–118, 1991.

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

HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J. L. Emissions of carbon from land use change in sub-Saharan Africa. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 111, p. 12, 2006.

HOUGHTON, R. A.; LAWRENCE, K. T.; HACKLER, J.; BROWN, L. S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, p. 731-746, 2001.

HUANG, M., ASNER, G.P. Long-term carbon loss and recovery following selective logging in Amazon forests. **Glob. Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 24, 15p, 2010.

HUY, B.; POUDEL, K. P.; TEMESGEN, H. Aboveground biomass equations for evergreen broadleaf forests in South Central Coastal ecoregion of Viet Nam: Selection of eco-regional or pantropical models. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 376, p. 276–283, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais técnicos em geociências número 1: **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 271p, 2012.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil (1961-1990)**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em 25 de agosto de 2016

IPCC. **Climate change 2007**. Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University, 939p. 2007.

IPCC. **Climate change 2014**: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Ed.)]. Geneva, Switzerland, 2015.

JATOBÁ, L. As condições climáticas de Pernambuco. In: ANDRADE, M. C. (Coord.). **Geografia de Pernambuco: ambiente e sociedade**. João Pessoa, PB: Editora Grafset, 2009.

JOLY, C.A.; METZGER, J.P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**. v. 204, p. 459–473, 2014.

KEENAN, J.R.; REAMS, G.A.; ACHARD, F.; FREITAS, J.V.; GRAINGER, A.; LINDQUIST, E. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.352, p.9–20, 2015.

KELLER, M.; PALACE, M.; ASNER, G. P.; PEREIRA JR, R.; SILVA, J. N.M. Coarse Woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern 473 Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 784-795, 2004.

KETTERINGS, Q.M.; COE, R.; NOORDWIJK, M.V.; AMBAGAU, Y.; PALM, C.A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 146, p.199–209, 2001.

LAL, R. Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbon pools. **Energy and Environmental Science**, London, v. 1, p. 86-100, 2008.

LAURANCE, W. F. Rainforest fragmentation kills big trees. **Nature**, Philadelphia, v. 404, 1p, 2000.

LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J.L.C.; LUIZÃO, R.C.C.; LAURANCE, S. G.; PIMM, S. T.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, P.C.; WILLIAMSON, G.B.; BENÍTEZ-MALVIDO, J.; VASCONCELOS, H.L.; HOUTAN, K.S.V.; ZARTMAN, C.E.; BOYLE, S.A.; DIDHAM, R.K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation**, Essex, v. 144, p.56–67, 2011.

LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M.; DIDHAM, R.K.; STOUFFER, P. C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R.O.; LAURANCE, S.G.; SAMPAIO, E. Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-Year Investigation, **Conservation Biology**, v. 16, n. 3, p. 605–618, 2002.

LAURANCE, W.F. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. **Biological Conservation**, Essex, v. 141, p.1731-1744, 2008.

LINDNER, A. Biomass storage and stand structure in a conservation unit in the Atlantic Rainforest—The role of big trees. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 36, p.1769–1773, 2010.

LIMA, R. C. **Equações para estimativas de biomassa de uma floresta tropical úmida do Amapá**. 2015. 50f (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, 2015.

LOPES, A.V.; GIRÃO, L.C.; SANTOS, B.A.; PERES, C.A.; TABRELLI, M. Long-term erosion of tree reproductive trait diversity in edge-dominated Atlantic forest fragments. **Biological Conservation**, Essex, v, 142, p. 1154-1165, 2009.

LOSI, C. J.; SICCAMI, T.G.; CONDIT, R.; MORALES, J.E. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.184, p. 355–368, 2003.

LUCCAS, F. S. **Estoques de necromassa em um cerrado sensu stricto e uma floresta ombrófila densa montana, no estado de São Paulo**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente, São Paulo, 2011.

MAAS, G.C.B. **Compartimentação do estoque de carbono em floresta ombrófila mista**. 2015 (não publicado). 169p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2015.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de Pinus oocarpa. **Revista Ciências Exatas e Naturais Unicentro**, Guarapuava - PR, v. 4, n.2, p. 185-197, 2002.

MAGNUSSON, W. E. NETO, R.B.; PEZZINI, F.; BACCARO, F.; BERGALLO, H.; PENHA, J.; RODRIGUES, D.; VERDADE, L.M.; LIMA, A.; ALBERNAZ, A L.; HERO, J. M.; LAWSON, B.; CASTILHO, C.; DRUCKER, D.; FRANKLIN, E.; MENDONÇA, F.; COSTA, F.; GALDINO, G.; CASTLEY, G.; ZUANON, J.; VALE, J.; SANTOS, J. L. C.; LUIZÃO, R.; C. CINTRA, R.; BARBOSA, R.L. et al. **Biodiversidade e Monitoramento Ambiental Integrado: o sistema RAPELD na Amazônia**. 1. ed. Santo André - SP: Attema Editorial, v. 1. 335p, 2013.

MAGNUSSON, W. E.; LIMA, A. P.; LUIZÃO, R.; LUIZÃO, F.; COSTA, F. R. C.; CASTILHO, C. V.; KINUPP, V. F. RAPELD: a modification of the Gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 5, n. 2, 2005.

MARINHO, L. S. V. **Modelo Alométrico para Estimativa da Biomassa e Estoque de Carbono na Mata Atlântica: Método não destrutivo com base em técnicas de escalada**. 2010. 51f (Mestrado em Geociências - Geoquímica ambiental) - Universidade Federal Fluminense-UFF, Niterói, RJ, 2010.

MIEHS, A.; YORK, A.; TOLHUST, K.; Di STEFANO, J.; BELL, T. Sampling downed coarse woody debris in fire-prone eucalypt woodlands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.259, n.3, p.440-445, 2010.

MIRANDA, D. L.C.; FRANCO, J.; SANTOS, J.P.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A.P.D. Precisão e eficiência relativa de métodos de amostragem em teca. **Pesq. flor. Bras**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 247-254, 2015.

MITTERMEIER, R.A.; TURNER, W.R.; LARSEN, F.W.; BROOKS, T.M.; GASCON, C. Global Biodiversity Conservation: The Critical Role of Hotspots. In: ZACHOS, F. E.;

HABEL, J. C. (eds.). **Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, p. 3-22, 2011.

MONTES, N.; GAUQUELIN, T.; BADRIB, W.; BERTAUDIÈRE, V.; ZAOUI, EL H. A non-destructive method for estimating above-ground forest biomass in threatened woodlands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.130, p. 37- 46. 2000.

MUGASHA, W.A; BOLLANDSÅS, O.M; EID, T. Relationships between diameter and height of trees in natural tropical forest in Tanzania. **Southern Forests**, Bethesda, v. 75, n. 4, p. 221–237, 2013.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, Philadelphia, v. 403, p. 853-858, 2000.

NASCIMENTO, H.E.M.; LAURANCE, W.F. Total aboveground biomass in Central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v,168, p.311-321, 2002.

NICOLETTI, M. F.; SILVA, E. ; FLORIANI, M. M. P. Metodologia não destrutiva para quantificação do volume e biomassa do fuste em remanescente florestal. **Revista Nativa**, Mato Grosso, v. 3, p. 287-291, 2015.

NGOMANDA, A., OBIANG, N.L.E.; LEBAMBA, J.; MAVOUROULOU, Q.M.; GOMAT, H.; MANKOU, G.S.; LOUMETO, J.; IPONGA, D.M.; DITSOUGA, F. K.; KOUMBA, R.K.; BOBÉ, K. H.B.; OKOUYI, C. M.; NYANGADOUMA, R.; LÉPENGUÉ, N.; MBATCHI, B.; PICARD, N. Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist central African forest? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 312, p. 1–9, 2014.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; E, V. L.; PARROTTA, J. A.; MELO, A. C. G.; RÉ, D. S. Allometric equations for estimating tree biomass in restored mixed-species Atlantic Forest stands. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 14, p. 1-9, 2014.

NOGUEIRA LIMA, A.J.; SUWA, R.; DE MELLO, PIRES.; RIBEIRO, G.H.; KAJIMOTO, T.; DOS SANTOS, J.; PEREIRA DA SILVA, R.; SAMPAIO DE SOUZA, C.A.; BARROS, P.C.; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. Allometric models for estimating above-and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, p. 163–172, 2012.

OGAWA, H.; KIRA, T. Primary Productivity of Japanese Forests. In: **Productivity of terrestrial communities**. Tokyo, v. 16. p. 15-21, 1977.

PALACE M., KELLER M., HURTT G., FROLKING S. A Review of Above Ground Necromass in Tropical Forests, **Tropical Forests**, Department of Geography of Maryland. p.215-252. 2012.

- PALACE, M., KELLER, M., ASNER, G.P., SILVA, J.N.M., PASSOS, C. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 238, p. 309–318, 2007.
- PALACE, M.; KELLER, M.; SILVA, H. Necromass production: studies in undisturbed and 497 logged Amazon forests. **Ecological Applications**, Washington, v. 18, n. 4, p. 873-884, 2008.
- PAULA, M. D.; COSTA, C. P. A.; TABARELLI, M. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: the role played by edge-affected habitats and emergent trees. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 349-358, 2011.
- PAULETTO, D. **Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira grossa em floresta submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste do Mato Grosso**. 2006. 84f (Dissertação de Mestrado). Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brasil, 2006.
- PEARSON, T. S.; BROWN, W. S. **With Source book for Land Use , Land-Use Change and Forest Projects**, n.175, p. 64, 2005.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário Florestal**. Curitiba: UFPR, v.1, 316p, 1997.
- PENNE, C.; AHRENDTS, B.; DEURER, M.; BÖTTCHER, J. The impact of the canopy structure on the spatial variability in forest floor carbon stocks. **Geoderma**, Amsterdam, v. 158, n. 3-4, p. 282–297, 2010.
- PICARD, N.; SAINT-ANDRÉ, L.; HENRY, M. Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction. **CIRAD et FAO**, p. 215, 2012.
- PINTO, L. P.; BRITO, M. C. W. Dinâmica da perda da biodiversidade na mata atlântica brasileira: uma introdução. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. (Org.), **Mata atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica - Belo Horizonte: Conservação Internacional, 472 p. 2005.
- PROCEKE, K.H. **Estoque de necromassa lenhosa em Floresta Ombrófila Mista usando diferentes métodos de amostragem**. 2015. 76p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal)- Universidade Estadual do Centro-Oeste-UNICENTRO, Irati, PR, 2015.
- RAMANKUTTY, N.; GIBBS, H.K.; ACHARD, F.; DEFRIES, R.; FOLEY, J.A.; HOUGHTON, R. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global change biology**, Oxford, v. 13, n. 1, p. 51-56, 2007.
- RAMOS, A. C. S.; ZICKEL, C. S.; PIMENTEL, R. M. M. Fenologia Da Floração E Frutificação De Espécies Do Sub-Bosque Em Um Fragmento Urbano De Floresta Atlântica Do Nordeste – Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v.23, n.1, p.80-90, 2006.

- RAVINDRANATH, N. H.; OSTWALD, M. **Carbon Inventory Methods**. Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Advances in Global Change Research. Springer Science + Business Media B.V. 304 p. 2008.
- REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FILHO, A. F.; 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**, Piracicaba, n. 71, p. 65-76, 2006.
- RIBEIRO, A.; PÉLLICO NETTO, S.; STALL, D.; LEÃO, R. A. ; NASCIMENTO, F. A. F. . Proposta metodológica para realização de inventário florestal de Necromassa: um estudo de caso. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 40, p. 121-127, 2012.
- RIBEIRO, M. C. METZGE, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Essex, n. 142, p. 1141-1153, 2009.
- RICE, A. H.; PYLE, E. H.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L.; PALACE, M., KELLER, M.; CAMARGO, P.B. de; PORTILHO, K.; MARQUES, D.F.; WOFSY, S. C. Carbon balance and vegetation dynamics in an oldgrowth Amazonian forest. **Ecological Applications**, Tempe, v, 14. P. 55-71, 2004.
- RITTER, T. & SABOROWSKI, J. Point transect sampling of deadwood: A comparison with well-established sampling techniques for the estimation of volume and carbon storage in managed forests. **European Journal of Forest Research**, v.131, p.1845–1856. 2012.
- ROLIM, S.G., JESUS, R.M., NASCIMENTO, H.E.M., COUTO, H.T.Z., CHAMBERS, J.Q. Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period. **Oecologia**, Berlin, v. 142, 238–246, 2005.
- RUTISHAUSER, E.; NOOR'AN, F.; LAUMONIER, Y.; HALPERIN, J.; 'IE, R.; HERGOUALC'H, K.; S VERCHOT, L. Generic allometric models including height best estimate forest biomass and carbon stocks in Indonesia, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.307, p. 219–225, 2013.
- SAATCHI, S. S.; HARRIS, N.L.; BROWN, S.; LEFSKY, M.; MITCHARD, E.A.; SALAS, W.; ZUTTA, B.R.; BUERMANN, W.; LEWIS, S.L.; HAGEN, S.; PETROVA, S.; WHITE, L.; SILMAN, M.; MOREL, A. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, California, v. 108, n. 24, p. 9899-9904, 2011.
- SANQUETTA, C. R.; PAULA, A.; CORTE, D.; PINTO, C.; ANTÔNIO, L.; MELO, N. Biomass and carbon in non-woody vegetation, dead wood and litter in iguaçu national park, **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 2, p.185–194, 2014.
- SANQUETTA, C.R. **Métodos de determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLIOTO, M.A.B.; GOMES, F.S. (Ed.). *As florestas e o carbono*, cap. 6, p. 119-140, 2002.

- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. 2. Santa Maria: FACOS - UFSM, 2009. 294, ISBN 978-85-98031-60-6.
- SCHROEDER, P. E.; WINJUM, J. K. Assessing Brazil's carbon budget: II. Biotic fluxes and net carbon balance. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 75, p. 87-99, 1995.
- SIERRA, C. A.; VALLE, J. I. DEL; ORREGO, S. A.; MORENO, F.H.; HARMON, M.E.; ZAPATA, M.; COLORADO, G.J.; HERRERA, M.A.; LARA, W.; RESTREPO, D.E.; BERROUET, L.M.; LOAIZA, L.M.; BENJUMEA, J.F. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porcè region, Colombia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 243, n. 2-3, p. 299–309, 2007.
- SILVA, A. J. R.; ANDRADE, L. H. C. Etnobotânica nordestina: estudo comparativo da relação entre comunidades e vegetação na zona do litoral - Mata do estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Acta Botânica Brasileira**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 45-60, 2005.
- SILVA, C.A.; KLAUBERG, C.; CARVALHO, C, S.P.; PICCOLO, M.C.; RODRIGUEZ, L. C. E. Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 135-146, 2015.
- SILVA, J.A.A.; BAILEY, R. L. O uso de transformações normalizadoras no ajuste de modelos volumétricos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 2, p. 199-206, 1991.
- SILVA, L.F.S.G.; CASTILHO, C.V.C.; CAVALCANTE, C. O.; PIMENTEL, T. P.; FEARNSTIDE, P.M.; BARBOSA, R. I. Production and stock of coarse woody debris across a hydro-edaphic gradient of oligotrophic forests in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 364, p. 1–9, 2016.
- SILVA, R.M.; COSTA, J.M.N.; RUIVO, M.L.P.; LÔLA DA COSTA, A.C.; ALMEIDA, S.S. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n.3, p.573–582, 2009.
- SILVA, V. D. **Respiração heterotrófica e estoques de necromassa em regiões de borda e interior em fragmentos de mata atlântica**. 2013. 93p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - universidade estadual do norte fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. 2013.
- SILVEIRA, P.; KOEHLER, H.S.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2007.
- SMITH, J. E.; HEATH, L. S.; WOODBURY, P. B. How to estimate forest carbon for large areas from inventory data. **Journal of Forestry**, Bethesda , p.25–31, 2004.
- SOARES FILHO, B. S. NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 152, 2005.

SOARES-FILHO, B. S. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, Philadelphia, v. 440, n. 7083, p. 520-23, 2006.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge: 996p, 2007.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN A.; WEISS, P. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, v. 126, n. 2. p. 197-207, 2006.

SOUZA, E. A. B.; MACHADO, M. A. D.; VISMARA, E. S. Ajuste e seleção de modelos de biomassa arbórea multiespecífico através da validação cruzada. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, Ouro Preto, v. 3, n. 3, p. 59- 63, 2014.

STAS, S.M.; RUTISHAUSER, E.; CHAVE, J.; ANTEN, N.P.R.; LAUMONIER, Y. Estimating the aboveground biomass in an old secondary forest on limestone in the Moluccas, Indonesia: Comparing locally developed versus existing allometric models. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 389, p.27–34, 2017.

STEHMANN, J. R.; FORZZA, R.C.;SALINO, A.; SOBRAL,M.; COSTA, D.P.; KAMINO, L.H.Y. **Plantas da Floresta Atlântica**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2009. p. 516, ISBN 978-85-60035-05-2.

STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.M.B.; NAUELS, A.; XIA,N.; ALLEN,S.K.; BOSCHUNG,J.; BEX,V.; MIDGLEY,P.M. **Climate Change 2013: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge and New York, p.465–570, 2013.

SUWA, R.; SAKAI, T.; SANTOS, J.; SILVA, R. P.; KAJIMOTO, T.; ISHIZUKA, M.; NIRO H. Significance of topographic gradient in stem diameter - height Allometry for Precise Biomass Estimation of a Tropical Moist Forest in the Central Amazon. **Agricultural Research Quarterly**, Japan, v. 47, p. 109-114, 2013.

TABARELLI, M. A.; AGUIAR, A.V.; RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; PERES, C.A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, Essex, v. 143, p. 2328-2340, 2010.

TANIZAKI, K. F. **Impactos do uso do solo no estoque e fluxo de carbono no domínio da Mata Atlântica**: estudo de caso no estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2000.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A. R. Measuring and monitoring carbon stocks at the Guaraqueçaba climate action project, Paraná, Brazil. In: International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring, 2002, Taipei, Taiwan. **Anais...** Taipei: Taiwan Forestry Research Institute, p.98-115, 2002.

TORRES, C.M.M.E.; JACOVINE, L.A.G.; SOARES, C.P.B.; NETO, S.N.O.; SANTOS, R.D.; NETO, F.C. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.647-655, 2013.

VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest Science**, Bethesda, v. 14, n. 1, p. 20-26, 1968.

VEIGA, L. G. **Estoque de madeira morta ao longo de um gradiente altitudinal de Mata Atlântica no Nordeste do estado de São Paulo**. 2010. 70 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2010.

VIEILLEDENT, G.; VAUDRY, R.; ANDRIAMANOHISOA, S.F.; RAKOTONARIVO, O.S.; RANDRIANASOLO, H.Z.; RAZAFINDRABE, H.N.; RAKOTOARIVONY, C.B.; EBELING, J.; RASAMOELINA, M.. A universal approach to estimate biomass and carbono stock in tropical forests using generic allometric models. **Ecological Applications**, Tempe, v. 22, n 2, p. 572-583, 2012.

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; DUARTE-NETO, P. J.; MARTINS, S. C.; VEIGA, L. G.; Scaranello, M. A.; PICOLLO, M. C.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B. DO; NETO, E. S.; SANTOS, F. A. M., JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above- and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. **Ecology and evolution**, Belgian, v. 1, n. 3, p. 421– 34, 2011.

VIEIRA, S.A.; ALVES, L.F.; AIDAR, M.P.M.; ARAÚJO, L.S.; BAKER, T.; BATISTA, J.L.F.; CAMPOS, M.C.R.; CAMARGO, P.B.; CHAVE, J.; DELITTI, W.B.; HIGUCHI, N.; HONÓRIO, E.; JOLY, C.A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L.A.; DE MATTOS, E.A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F.A.M.; SHIMABUKURO, M.T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S.E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 21-29, 2008.

VISMARA, E.S. **Mensuração de biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2009.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W.K.; FONSECA, R.C.B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

WADDELL, K.L. Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. **Ecological Indicators**, Oxford, v.1, n.3, p.139-153, 2002.

WARREN, W.G.; OLSEN, P.F. A line intersect technique for assessing logging waste. **Forest Science**, Bethesda, v.10, n.3, p.267-276, 1964.

WATZLAWICK, L.F.; CALDEIRA, M.V.W.; VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M.V.; GODINHO, T.O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, 2012.

WOLDENDORP, G.; KEENAN, R.J.; BARRY, S.; SPENCER, R.D. Analysis of sampling methods for coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.198, n.1-3, p.133-148, 2004.

WOODALL, C. W.; RONDEUX, J.; VERKERK, P.J.; STÄHL G. Estimating Dead Wood During National Forest Inventories : A Review of Inventory Methodologies and Suggestions for Harmonization. **Environmental Management**, New York, v.44, p.624–631, 2009.

WOODALL, C.W.; HEATH, L.S.; SMITH, J.E. National inventories of down and dead woody material forest carbon stocks in the United States: Challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam. v. 256, n.3, p.221-228, 2008.