

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

KAREN ALINE DE OLIVEIRA

**NECROMASSA LENHOSA E CARBONO EM FLORESTAS NO CENTRO-SUL,
SUDESTE E CENTRO OCIDENTAL PARANAENSE**

CURITIBA

2017

KAREN ALINE DE OLIVEIRA

**NECROMASSA LENHOSA E CARBONO EM FLORESTAS NO CENTRO-SUL,
SUDESTE E CENTRO OCIDENTAL PARANAENSE**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Florestal, no Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração de Manejo Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ph.D. Carlos Roberto Sanquetta
Co-orientadora: Prof. Dr. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2017

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Oliveira, Karen Aline de

Necromassa folhosa e carbono em florestas no centro-sul, sudeste e centro
ocidental paranaense / Karen Aline de Oliveira. – 2017

66 f. : il.

Orientador: Prof. Ph.D. Carlos Roberto Sanquetta

Coorientadora: Prof.^a Dr^a Ana Paula Dalla Corte

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba,
10/04/2017.

Área de concentração: Manejo florestal

1. Florestas - Paraná. 2. Biomassa vegetal - Paraná. 3. Resíduos vegetais –
Paraná. 4. Serapilheira - Paraná. 5. Carbono. 6. Teses. I. Sanquetta, Carlos Roberto.
II. Dalla Corte, Ana Paula. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9098162

CDU – 634.0.548(816.2)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **KAREN ALINE DE OLIVEIRA** intitulada: **NECROMASSA LENHOSA E CARBONO EM FLORESTAS NO CENTRO-SUL, SUDESTE E CENTRO OCIDENTAL PARANAENSE.**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua

APROVAÇÃO

Curitiba, 10 de Abril de 2017.



CARLOS ROBERTO SANQUETTA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



GREYCE CHARILLYNE BENEDET MAAS

Avaliador Externo (AUT)



ALLAN LIBANIO PELISSARI

Avaliador Externo (UFPR)



Aos meus pais Mônica (in memoriam) e Luiz,
Aos meus irmãos amados: Ester, Luiz Guilherme e Isabel,
A minha avó Maria.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo privilégio da vida!

A minha família pelo incentivo, amor e paciência; em especial aos meus irmãos: Ester, Gui e Isabel, que me mostram a cada dia o quanto sou abençoada por tê-los em minha vida!

Ao meu namorado Jonathan Hoffmann pelo carinho, companheirismo e compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus orientadores: Professor Carlos Roberto Sanquetta e Professora Ana Paula Dalla Corte pelos ensinamentos a mim transmitidos, pelos auxílios e contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Serviço Florestal Brasileiro por ceder os dados para elaboração do trabalho.

Aos professores Alexandre Behling, Sylvio Péllico Netto e Allan Libanio Pelissari e ao Franciel Rex e Aurélio Lourenço Rodriguez e que prontamente me auxiliaram quando precisei.

Aos amigos da pós-graduação, em especial: Luciane Schmidt, Isis Dias, Bruna do Nascimento, Franciel Rex, Monica Anater, Vinicius Coutinho e Aline Debastiani pelo companheirismo durante estes dois anos de convívio.

Aos demais amigos, por tornarem mais leves os momentos difíceis.

RESUMO

Uma estratégia fundamental na mitigação das mudanças climáticas é considerar o potencial das florestas na fixação do carbono em sua biomassa. Um componente essencial na composição da biomassa florestal total é a necromassa que, embora desempenhe um importante papel nos ecossistemas florestais, muitas vezes não é mensurada em inventários florestais. A necromassa pode ser dividida em árvores mortas em pé e material vegetal morto caído sobre o solo. Isto posto, este trabalho objetivou quantificar o volume (V_n), massa (W) e estoque de carbono (C) na necromassa caída sobre o solo, bem como gerar informações relativas à dependência espacial desta variável e correlacioná-la com outras variáveis biométricas da floresta por meio do Índice de Correlação de Spearman. Utilizou-se para tal, os dados coletados no Inventário Florestal Nacional do Paraná (IFN), no ano de 2013, nas regiões Centro-Sul, Sudeste e Centro-Ocidental paranaense. Na coleta dos dados foi utilizado o método de amostragem por linhas transectais mensurando-se todos os diâmetros acima de 2,5 cm das peças de necromassa que as interceptassem. Aproximadamente 88% das peças encontravam-se na classe de diâmetro entre 2,5 e 10 cm, produzindo uma curva de distribuição diamétrica do tipo “J invertido”, tendência esta, semelhante às curvas de distribuição do V_n , W e C . O V_n variou de 0 a 303,06 $m^3 \cdot ha^{-1}$, sendo a média entre todas as unidades amostrais, 20,04 $m^3 \cdot ha^{-1}$; os W variaram de 0 a 103,12 $Mg \cdot ha^{-1}$; sendo que a média encontrada foi de 6,72 $Mg \cdot ha^{-1}$; o C variou de 0 a 43,79 $Mg \cdot ha^{-1}$, cuja média foi de 2,87 $Mg \cdot ha^{-1}$. A interpretação visual da distribuição do V_n , W e C indicou falta de dependência espacial para as variáveis analisadas. O Índice de Correlação de Spearman resultou no valor de 0,28 ao correlacionar necromassa e biomassa e 0,20 ao correlacionar necromassa e profundidade de serapilheira, indicando fraca correlação entre ambos conjuntos de dados. Os resultados obtidos reforçam a necessidade de maiores estudos referentes à variável necromassa, a fim de serem geradas informações mais seguras e precisas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Necromassa. Linhas transectais. Dependência espacial. Correlação.

ABSTRACT

A key strategy in climate change mitigation is to consider the importance of forests in carbon sequestration in their biomass. An essential component in the composition of total forest biomass is dead wood which, although it plays an important role in forest ecosystems, is often overlooked in inventories. The dead wood can be divided into standing dead trees and dead plant material lying on the ground. This work aimed at quantifying the volume (V_n), mass (W) and carbon stock (C) in dead wood on the ground, as well as to generate information related to the spatial dependence of this variable and to correlate it with other biometric variables of the forest by means of the Spearman Correlation Index. The data collected in the National Forest Inventory of Paraná (NFI) in the central-south, southeastern and central-western regions of the state of Paraná in 2013, were used for this purpose. In the data collection, the method of sampling by transected lines was used, measuring all diameters above 2.5 cm of the pieces intercepting the lines. Approximately 88% of the pieces were in the diameter class between 2.5 and 10 cm, producing a diametric distribution curve of type "inverted J" similar to the distribution curve of V_n , W and C , which showed the same tendency. V_n varied from 0 to 303.06 $m^3.ha^{-1}$, with the mean of all sample units being 20.04 $m^3.ha^{-1}$; W ranged from 0 to 103.12 $Mg.ha^{-1}$, the average found was 6.72 $Mg.ha^{-1}$, and C ranged from 0 to 43.79 $Mg.ha^{-1}$, whose mean was 2.87 $Mg.ha^{-1}$. The visual interpretation of the V_n , W and C distribution indicated a lack of spatial dependence for the analyzed variable. The Spearman Correlation Index resulted in a value of 0.28 when correlating dead wood and biomass and 0.20 when correlating dead wood and litter, indicating a weak correlation between both data sets. The results obtained reinforce the need for further studies on the variable dead wood, in order to generate safer and more accurate information.

Keywords: Climate change. Dead wood. Transected lines. Spatial dependence. Correlation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	EMISSÕES BRASILEIRAS DE CO ₂ EQUIVALENTE (2012)	17
FIGURA 2 -	MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS DO INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL, NAS REGIÕES CENTRO-SUL, SUDESTE E CENTRO OCIDENTAL PARANAENSE, ONDE CADA PONTO SINALIZADO SIMBOLIZA UM LOCAL DE AMOSTRAGEM	26
FIGURA 3 -	INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS TRANSECTOS NOS CONGLOMERADOS, PARA A COLETA DE DADOS DE NECROMASSA DO INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL	29
FIGURA 4 -	A) ESQUEMA DE INCLUSÃO OU NÃO DAS PEÇAS PELA LINHA TRANSECTAL B) LINHA TRANSECTAL CRUZANDO UMA ÁRVORE CAÍDA	30
FIGURA 5 -	PERCENTUAL (%) DE PEÇAS EM CADA UNIDADE FITOGEOGRÁFICA CONFORME A CLASSE DE DIÂMETRO ..	41
FIGURA 6 -	MEDIANA DOS ESTOQUES DE NECROMASSA E DISPERSÃO DOS DADOS, INCLUINDO <i>OUTLIERS</i> , CONFORME A UNIDADE FITOGEOGRÁFICA	42
FIGURA 7 -	PERCENTUAL (%) DE PEÇAS EM CADA UNIDADE FITOGEOGRÁFICA CONFORME A CLASSE DE DECOMPOSIÇÃO	43
FIGURA 8 -	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DO NÚMERO DE PEÇAS DE NECROMASSA POR CLASSES DIAMÉTRICAS (cm)	44
FIGURA 9 -	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS ABSOLUTAS DE A) Vn EM CLASSES DE Vn (m ³ .ha ⁻¹); B) W EM CLASSES DE W (Mg.ha ⁻¹) E C) C EM CLASSES DE C (Mg.ha ⁻¹)	45
FIGURA 10 -	LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DO A) VOLUME DE NECROMASSA (m ³ .ha ⁻¹); B) ESTOQUE DE NECROMASSA (Mg.ha ⁻¹) E C) ESTOQUE DE CARBONO (Mg.ha ⁻¹)	49

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	NÍVEIS DE DECOMPOSIÇÃO DAS PEÇAS DE NECROMASSA MENSURADAS E SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS	21
QUADRO 2 -	CLASSES DE DECOMPOSIÇÃO DAS PEÇAS MENSURADAS DIVIDIDAS EM CINCO E SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS	21
QUADRO 3 -	NÍVEIS DE DECOMPOSIÇÃO DA NECROMASSA LENHOSA E SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS	31
QUADRO 4 -	ESTATÍSTICA PARA PROCESSO DE AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	DENSIDADE BÁSICA DA NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, CONFORME SUAS CLASSES DE DECOMPOSIÇÃO	32
TABELA 2 –	TEORES DE CARBONO DA NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (g.kg^{-1}) CONFORME A CLASSE DE DECOMPOSIÇÃO	33
TABELA 3 –	VALORES MÉDIOS E MEDIANAS DAS VARIÁVEIS VOLUME DE NECROMASSA (V_n), ESTOQUE DE NECROMASSA (W), ESTOQUE DE CARBONO (C), BIOMASSA TOTAL AÉREA (B) E PROFUNDIDADE DE SERAPILHEIRA (Ser), CONFORME A UNIDADE FITOGEOGRÁFICA	40
TABELA 4 –	VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MÉDIOS PARA AS VARIÁVEIS VOLUME DE NECROMASSA ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$), ESTOQUE DE NECROMASSA ($\text{Mg}.\text{ha}^{-1}$) E ESTOQUE DE CARBONO ($\text{Mg}.\text{ha}^{-1}$)	46
TABELA 5 –	VOLUME DE NECROMASSA ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$), ESTOQUE DE NECROMASSA ($\text{Mg}.\text{ha}^{-1}$) E ESTOQUE DE CARBONO ($\text{Mg}.\text{ha}^{-1}$) CONFORME A CLASSE DE DECOMPOSIÇÃO	47
TABELA 6 –	ESTATÍSTICA DO INVENTÁRIO PARA AS VARIÁVEIS VOLUME DE NECROMASSA (V_n), ESTOQUE DE NECROMASSA (W) E ESTOQUE DE CARBONO (C) PARA AS TRÊS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS ANALISADAS EM CONJUNTO	51
TABELA 7 –	INTENSIDADE AMOSTRAL CALCULADA PARA AS VARIÁVEIS VOLUME DE NECROMASSA (V_n), ESTOQUE DE NECROMASSA (W), ESTOQUE DE CARBONO (C), BIOMASSA E SERAPILHEIRA, PARA AS TRÊS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS EM CONJUNTO, A FIM DE ALCANÇAR ERROS AMOSTRAIS DE 20% E 15%	52
TABELA 8 –	ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA AS VARIÁVEIS BIOMASSA SECA AÉREA ($\text{Mg}.\text{ha}^{-1}$) E PROFUNDIDADE DE	

SERAPILHEIRA (cm); E COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO
COM A NECROMASSA

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	O PAPEL DAS FLORESTAS NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	16
3.2	QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO NOS ECOSSISTEMAS FLORESTAIS	18
3.2.1	Biomassa florestal	18
3.2.1.1	Determinação e estimativa de biomassa florestal	19
3.3	NECROMASSA FLORESTAL	20
3.3.1	Métodos de amostragem de necromassa em florestas	22
3.3.1.1	Área fixa	22
3.3.1.2	Linha interceptadora	23
3.3.2	Pesquisas em relação à necromassa	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
4.1.1	Localização	26
4.1.2	Clima	27
4.1.3	Vegetação	27
4.1.4	Solo	27
4.2	INVENTÁRIO FLORESTAL	28
4.3	CÁLCULOS	31
4.3.1	Volume de necromassa (V_n)	31
4.3.2	Estoque de necromassa (W)	32
4.3.3	Estoque de carbono (C) na necromassa	33
4.4	ANÁLISE DOS DADOS	33
4.4.1	Distribuição de frequência	34
4.4.2	Padrão espacial da distribuição da necromassa	34
4.4.3	Correlação da necromassa com outras variáveis biométricas da floresta	35

4.4.3.1	Biomassa total aérea individual	35
4.4.3.2	Serapilheira	36
4.4.4	Estatísticas descritivas	36
4.4.5	Intensidade amostral	37
4.4.6	Comparação dos estoques de necromassa entre as unidades fitogeográficas	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	39
5.2	COMPARAÇÃO ENTRE AS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS	40
5.3	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA	43
5.4	ESTIMATIVA DO VOLUME, MASSA E TEOR DE CARBONO NA NECROMASSA	46
5.5	PADRÃO ESPACIAL DA DISTRIBUIÇÃO DA NECROMASSA	48
5.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	50
5.6.1	Estatística do Inventário	50
5.6.2	Intensidade amostral	51
5.7	CORRELAÇÃO DA NECROMASSA CAÍDA E SUSPENSA SOBRE O SOLO COM OUTRAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS NA FLORESTA	53
6	CONCLUSÕES	56
7	RECOMENDAÇÕES	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	APÊNDICES	65

1 INTRODUÇÃO

Variações climáticas podem ocorrer de maneira natural ou antrópica. As causas naturais podem ter diversos motivos, como a intensidade solar, variação no eixo e órbita da terra, El Niño e La Niña e ocorrem durante um determinado tempo. Contudo, a má gestão dos recursos naturais tem aumentado a quantidade de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera (NOBRE, SAMPAIO e SALAZAR, 2007). Deve-se, portanto, adotar estratégias com a finalidade de reduzir as emissões de GEEs e mitigar as concentrações de CO₂ na atmosfera (Silveira et al. 2008). Uma destas estratégias é o aumento da biomassa florestal por conta de sua capacidade de armazenamento de carbono.

Para ser possível a avaliação dos teores de carbono dos diferentes componentes vegetais e a contribuição em estudos de balanço energético e do ciclo de carbono na atmosfera, é necessário quantificar a biomassa de cada componente separadamente (REZENDE et al., 2001). A necromassa desempenha um importante papel nos ecossistemas florestais, atuando na manutenção dos teores de matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes no solo, além de servir como habitat e alimento para diversos organismos (WOLDENDORP et al., 2004). Apesar de ser um importante reservatório de carbono em florestas, compondo cerca de 10 a 20% da biomassa acima do solo em florestas maduras, esse significativo componente muitas vezes não é quantificado em levantamentos florestais (BROWN, 2002).

No termo necromassa são incluídas as árvores mortas em pé e caídas sobre o solo, bem como galhos, troncos, gravetos e fragmentos de madeira caídos no solo. A quantificação de necromassa iniciou-se com estudos na área de incêndios florestais (WARREN e OLSEN, 1964; VAN WAGNER, 1968), sendo posteriormente utilizada em estudos com outros intuitos, como quantificação de resíduos florestais pós-colheita e quantificação de carbono.

De acordo com Woodall et al. (2006) apenas 30 países realizam inventários de necromassa, o que representa 13% do total de países do mundo, sendo que mais de 77% dos inventários de necromassa foram iniciados após o ano de 2000, nos quais são utilizados diferentes métodos de amostragem e, geralmente, com uma intensidade amostral pequena. No Brasil, o primeiro trabalho de quantificação de

necromassa foi publicado em 2012, o que indica que estudos com essa finalidade são bastante recentes no país (RIBEIRO et al., 2012).

Com o intuito de aprimorar as informações acerca das florestas e recursos florestais brasileiros, acontece o Inventário florestal Nacional (IFN), coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB), órgão do Ministério do Meio Ambiente (MMA) que foi criado pela Lei 11.284 (03/03/2006), ao qual compete o estabelecimento e coordenação do Sistema Nacional de Informações Florestais (IFN, 2006).

Com o propósito de obter-se informações sobre o estoque de biomassa e carbono presentes na matéria “morta” da floresta, durante o Inventário Florestal Nacional, é realizada a coleta de dados referentes à serapilheira, galhos e troncos mortos, entre outros, sendo que, todos os galhos e troncos mortos em estado variável de decomposição são considerados necromassa (IFN, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Quantificar a necromassa lenhosa caída sobre o solo e suspensa e o estoque de carbono em larga escala, utilizando para tanto, os dados da necromassa coletados no Inventário Florestal Nacional (IFN) do Paraná, por meio do método de amostragem das linhas interceptadoras e discutir suas implicações.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar o volume, o estoque de necromassa e a quantidade correspondente de carbono da necromassa nas diferentes classes de decomposição e classes de diâmetro;
- Avaliar as diferenças em relação à variável necromassa entre as unidades fitogeográficas;
- Avaliar a normalidade e a dependência espacial de volume de necromassa nas regiões estudadas;
- Avaliar a existência de correlação entre a necromassa e outras variáveis biométricas das unidades amostrais de estudo;
- Avaliar o desempenho, quanto à precisão e intensidade amostral, do método de amostragem por linhas transectais na quantificação de necromassa caída, no IFN.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

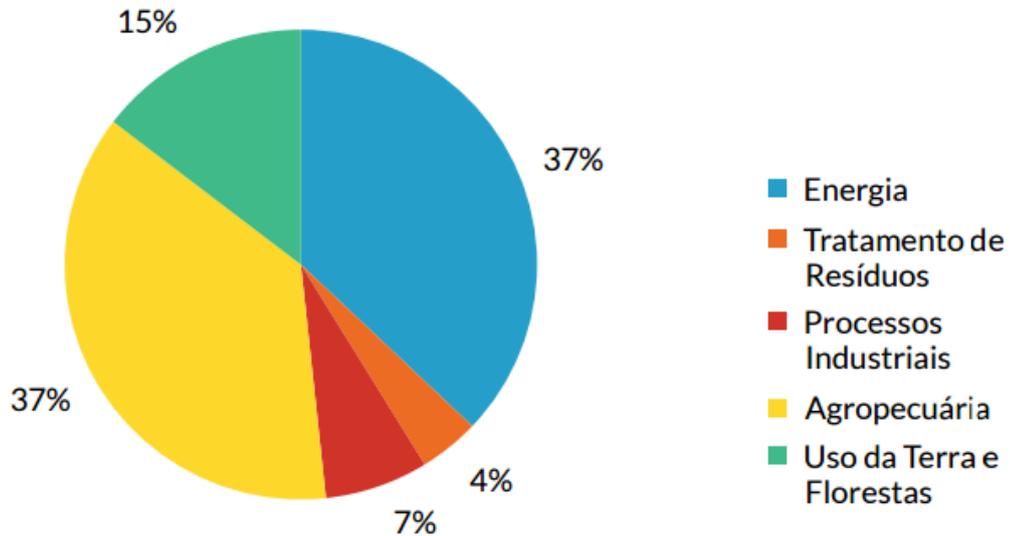
3.1 O PAPEL DAS FLORESTAS NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), em seu artigo 1º, define as mudanças climáticas como alterações climáticas que ocorrem ao longo do tempo, que possam ser diretas ou indiretamente atribuídas às atividades humanas, em que é alterada a composição atmosférica mundial e que intensifique as alterações climáticas naturais.

A Terra sempre passou por períodos de resfriamento e aquecimento naturais de tempos em tempos. Porém a atividade industrial está modificando os processos naturais do planeta. Desde os primórdios da Revolução Industrial a concentração de CO₂ na atmosfera sofreu um aumento de 31%, sendo que mais de metade desse crescimento ocorreu durante os últimos 50 anos (MMA, 2006).

Nas duas últimas décadas a terra está aquecendo quase 0,2 °C por década, que é um ritmo cerca de 50 vezes mais rápido do que o ciclo natural glacial-interglacial; o nível do mar subiu cerca de 20 centímetros na média global durante o Século XX, conseqüentemente as áreas cobertas com neve e geleiras estão diminuindo. A emissão de GEEs está aumentando devido ao processo de combustão, o qual ocorre com a queima de gás natural, petróleo, florestas, carvão, resultando em CO₂ como produto final. (NOBRE, REID e VEIGA, 2012).

De acordo com o Relatório de Estimativas anuais de emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil, realizado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2014) cerca de 37% das emissões de CO₂eq provêm da queima de petróleo, carvão e gás natural, 37% ocorre devido as atividades agropecuárias, 15% devido as mudanças no uso da terra (Figura 1), diferente de outros países desenvolvidos e alguns emergentes, que emitem cerca de 60 a 80% dos GEEs provenientes da queima de combustíveis fósseis (NOBRE, 2008).

FIGURA 1 - EMISSÕES BRASILEIRAS DE CO₂ EQUIVALENTE (2012)

FONTE: MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (2014).

A fim de mitigar as mudanças climáticas no Brasil, devem ser aderidas estratégias para reduzir as fontes de emissão dos GEEs e também para aumentar os sumidouros desses gases. Uma primeira estratégia a ser adotada é a redução dos desmatamentos, pois a principal fonte de emissão de GEEs provém das mudanças do uso da terra, para implantação de pecuária e agricultura. Outra importante estratégia de mitigação das mudanças climáticas é considerar o grande potencial das florestas em sequestrar o carbono emitido por meio da fotossíntese realizada pelas plantas (NOBRE, 2008).

As florestas são os maiores acumuladores de biomassa do planeta (SANQUETTA, 2002) e armazenam em suas árvores e solo, mais carbono do que existe atualmente na atmosfera, sendo, portanto, fundamentais para o equilíbrio do estoque de carbono global. Por terem uma elevada taxa de crescimento, elas possuem grande capacidade de remover o CO₂ da atmosfera e convertê-lo em compostos reduzidos de carbono por meio da fotossíntese (NUTTO et al., 2002).

O termo “estoques de carbono” envolve a ideia de conservação dos estoques de carbono, no solo, em florestas ou em outros tipos de vegetação, sendo necessário para tal, a preservação de áreas florestais, a implantação de novos povoamentos florestais e sistemas agroflorestais e a recuperação de áreas degradadas (REZENDE, MERLIN e SANTOS, 2001).

3.2 QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO NOS ECOSISTEMAS FLORESTAIS

3.2.1 Biomassa florestal

Sanquetta, Balbinot e Ziliotto (2004) definem o termo biomassa como toda massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Ao se tratar de matéria de origem vegetal, os autores recomendam utilizar o termo biomassa florestal, ou então, fitomassa. Para especificar a porção arbórea da fitomassa, poder-se-ia utilizar o termo “fitomassa florestal” ou então, “fitomassa arbórea”.

Segundo Martinelli et al. (1994) a biomassa total é a soma de: biomassa viva horizontal acima do solo (árvores e arbustos), biomassa morta acima do solo (serapilheira e troncos caídos) e biomassa abaixo do solo (raízes). Para Lu (2006) a biomassa compreende a biomassa viva e morta, acima e abaixo do solo.

A maior parte da biomassa está concentrada na biomassa viva acima do solo, sendo estimada com mais frequência. A biomassa abaixo do solo não é frequentemente estimada devido à dificuldade na metodologia do levantamento e por ser mais dispendiosa (CALDEIRA, 2003).

De acordo com Higa et al. (2014), em uma floresta a biomassa viva é composta por troncos, galhos, raízes, cascas, sementes e folhagens, enquanto que a biomassa morta é composta por serapilheira, galhos e troncos caídos e pela biomassa morta abaixo do solo. Os autores denominam biomassa florestal como o componente arbóreo e fitomassa como todos os componentes vegetais da comunidade, expressa em matéria seca (MS) por unidade de área (Mg MS ha^{-1}).

O conhecimento acerca da biomassa acumulada em florestas é necessário para o adequado planejamento da produção florestal e tratamentos silviculturais, pois aponta informações sobre quantidades, qualidades e distribuição dos produtos florestais e permite uma previsão real de uma área florestal (CALDENTEY, 1995).

3.2.1.1 Determinação e estimativa de biomassa florestal

Também chamados de métodos destrutivos, os métodos diretos para determinação de biomassa florestal são muito onerosos, tanto em questão de custos quanto de tempo, pois implicam no corte e pesagem de todos os componentes arbóreos em todas as unidades amostrais (REZENDE, MERLIN e SANTOS, 2001). Segundo Sanquetta, Balbinot e Zilliotto (2004), os métodos diretos implicam em determinações e, por serem muito caros, não são viáveis em grandes extensões florestais, sendo, portanto, usadas estimativas na maioria dos estudos de biomassa florestal.

Os procedimentos de campo na determinação da biomassa florestal podem variar muito de acordo com os objetivos e restrições técnicas e orçamentárias do trabalho. Os procedimentos mais simples consistem em cortar a planta e pesá-la integralmente, procedimento este, denominado de simples pesagem. Quando há a necessidade de um estudo mais detalhado, é preciso realizar a simples separação, que consiste em desmembrar as partes da planta, como, caules, galhos, folhagem, raízes e miscelânea (flores, frutos e outros). Para casos em que se deseja ter detalhamento ainda maior, podem ser empregadas técnicas de dissecação da biomassa, as quais são chamadas de técnicas de secção, dissecação ou corte em camadas (SANQUETTA, 2002).

Os métodos indiretos de obtenção da biomassa florestal utilizam de estimativas provindas de dados de determinação de biomassa, ou sensoriamento remoto e de inventário florestal e podem ser realizados por meio de relações empíricas entre a biomassa e outras variáveis (SILVEIRA, 2008). Procura-se estabelecer uma relação entre variáveis dendrométricas de fácil obtenção como, por exemplo, o diâmetro e altura do fuste, diâmetro e altura da copa, com os pesos dos elementos componentes das árvores (troncos, galhos, folhagens e outros) (REZENDE, MERLIN e SANTOS, 2001).

3.3 NECROMASSA FLORESTAL

Denomina-se necromassa florestal toda a biomassa lenhosa morta acima de 2 cm de diâmetro, de diferentes tamanhos e formas, presente nas florestas, incluindo toras, galhos, gravetos, raízes e fragmentos de madeira (HIGA et al., 2014). Brown (2002), FAO (2010), IPCC (2014) entre outros autores, referem-se à necromassa como “*dead wood*”, enquanto que Woldendorp et al. (2004), Keller et al. (2004), Waddell (2002) entre outros, denominam de “*coarse woody debris*”. Brown (2002) refere-se ainda a este componente como “*dead organic matter*” e “*dead woody biomass*”. Smith, Heath e Woodbury (2004) denominam a necromassa contida nas árvores mortas em pé de “*standing dead trees*” e a necromassa caída sobre o solo de “*down dead wood*”. Portela et al. (2009), Palace, Keller e Silva (2008), Chao et al. (2009), Lomstein et al. (2012), Gougoulas, Clark e Shaw (2014), Ugawa, Miura e Kaneko (2014) entre outros tratam este componente como “*necromass*”.

A necromassa florestal ou “*dead wood*” é definida pela FAO (2010), no entanto, como toda biomassa lenhosa não viva, sejam raízes mortas e tocos maiores do que 10 cm de diâmetro (ou outro diâmetro mínimo conforme as normas do país), de pé ou caída sobre o solo, que não esteja contida na serapilheira.

Barbosa, Silva e Cavalcante (2009) definem necromassa como toda a massa morta presente em ecossistemas naturais ou antropogênicos, expressa em unidade de peso seco por unidade de área. Waddell (2002) e Woldendorp et al. (2004) incluem neste termo árvores caídas inteiras, galhos caídos, pedaços de madeira fragmentados, tocos e árvores mortas em pé.

A necromassa florestal pode ser dividida em duas categorias: árvores mortas em pé e material vegetal morto caído sobre o solo. Este último ainda pode ser dividido em duas subcategorias: liteira fina ou serapilheira, que é composta por folhas, gravetos e galhos com diâmetro menor do que 2 cm e liteira grossa, composta por galhos e troncos com diâmetro maior do que 2 cm (BARBOSA, SILVA e CAVALCANTE, 2009). As frações de necromassa com diâmetro maior que 10 cm e comprimento maior que 1,5 m são incluídas na classe resíduos lenhosos grossos, já as frações menores são incluídas na classe de resíduos lenhosos finos (HARMON e SEXTON, 1996). Segundo o relatório do IPCC (2014), estudar o tamanho e a

dinâmica da necromassa resulta em limitações práticas, principalmente relacionadas às quantificações em campo.

O estoque de necromassa presente em uma floresta é influenciado tanto pela produção florestal quanto pela decomposição da madeira morta (PALACE, KELLER e SILVA, 2008). As peças de necromassa podem ser classificadas de acordo com seu nível de decomposição. O Serviço Florestal Brasileiro (2013), assim como Barbosa, Silva e Cavalcante (2009) entre outros autores adotam três níveis, como é apresentado no Quadro 1.

QUADRO 1 – NÍVEIS DE DECOMPOSIÇÃO DAS PEÇAS DE NECROMASSA MENSURADAS E SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS

Nível	Classe de decomposição	Características
1	Decomposição inicial	Casca intacta, presença de ramos e textura de madeira intacta.
2	Decomposição intermediária	Resquícios de casca, sem ramos e madeira firme.
3	Decomposição avançada	Sem casca, sem ramos e com madeira em estágio de decomposição médio a avançado, aparência esfarelenta.

FONTE: ADAPTADO DO IFN – SFB (2013).

Baker e Chao (2011), Rahman et al. (2008) entre outros autores, utilizam de cinco classes de decomposição, conforme as características que seguem no Quadro 2.

QUADRO 2 – CLASSES DE DECOMPOSIÇÃO DAS PEÇAS MENSURADAS DIVIDIDAS EM CINCO E SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS

Classe de decomposição	Características
1	Madeira sólida, caída recentemente, com casca da árvore intacta e ramos finos ainda agarrados.
1,5	Madeira sólida, mas sem ramos finos e com casca da árvore que começa a se desprender.
2	Madeira não sólida, em pobres condições, mas onde é difícil empurrar um prego na madeira com a mão.
2,5	Mole, madeira podre, onde um prego pode ser empurrado facilmente dentro da madeira.
3	Mole, madeira podre, que se desfaz com facilidade quando pisada.

FONTE: BAKER E CHAO (2011).

A necromassa tem importantes funções aos ecossistemas florestais que eram, até algum tempo, ignoradas pelos pesquisadores (HARMON e SEXTON, 1996). Ela desempenha um importante papel nos ecossistemas aquáticos e terrestres, para a vida selvagem e desenvolvimento de fungos e além de servir como habitat para inúmeras espécies da fauna e flora e ser ambiente para estabelecimento de mudas, desempenha um importante papel na ciclagem de nutrientes e na estabilidade do solo (WOLDENDORP et al., 2004, WOODALL et al., 2009, WHITTAKER, 1975).

3.3.1 Métodos de amostragem de necromassa em florestas

O primeiro passo na mensuração de necromassa é estimar o volume por meio de uma das técnicas existentes. Os materiais mensurados são classificados de acordo com suas classes de decomposição e amostras de cada classe são coletadas para determinação da densidade. A determinação da massa ocorre por meio do produto do volume pela densidade da classe (BROWN, 2002).

Há diversas maneiras de se proceder a quantificação da necromassa, como parcelas de área fixa, demarcação de faixas, amostragem por linhas interceptadoras, *cluster* adaptativo, relascópio por ponto, relascópio por transecto e transecto guiado. Porém, em áreas de vegetação nativa com difícil acesso ou vegetação densa, o mais recomendável é que se proceda a quantificação por meio de amostragem por linhas interceptadoras (HIGA et al., 2014).

3.3.1.1 Área fixa

No método de amostragem de área fixa a seleção de indivíduos é feita proporcionalmente à área da unidade amostral e os cálculos são feitos para a unidade amostral de área fixa para posteriormente serem extrapolados para a unidade de área (hectare) e para a área total a ser inventariada (SANQUETTA et al., 2009).

Para estudos de necromassa uma área é pré-determinada e todas as variáveis de interesse (diâmetro, comprimento ou outras variáveis) das peças de necromassa presentes na área são mensuradas (WOLDENDORP et al., 2004;

PALACE et al., 2012). Nesse método de mensuração, a forma e tamanho das parcelas são constantes e tem duas dimensões: comprimento e largura (HARMON e SEXTON, 1996).

É um método mais dispendioso e delongado (WADDELL, 2002), porém alcança resultados mais precisos, que podem ser comparados com outras variáveis biométricas e ambientais (PALACE et al., 2012).

3.3.1.2 Linha interceptadora

A amostragem por linha interceptadora foi desenvolvida inicialmente por Warren e Olsen em 1964 para a medição do volume de resíduos pós-colheita acima de um determinado limite de tamanho, em plantações de *Pinus radiata* na Nova Zelândia. O método desenvolvido por eles resultou em boa precisão nas estimativas de volume a um custo muito menor do que seria obtido em amostragens convencionais, porém exigiu um teste preliminar para orientação das peças (VAN WAGNER, 1968).

Van Wagner (1968) propôs uma modificação no método de Warren e Olsen, para a estimativa do volume de madeira no solo em qualquer forma e não requerendo testes preliminares para a orientação das peças.

O método de amostragem de interceptação em linha propõe que todas as peças de necromassa que cruzam uma linha de comprimento determinado tenham seus diâmetros mensurados no ponto de interseção com a linha e classes de decomposição sejam anotadas para que forneçam estimativas de necromassa (VAN WAGNER, 1968; BAKER e CHAO, 2011; PALACE et al., 2012; CARDOSO et al., 2013).

Os transectos são geralmente dispostos em diferentes orientações no local de amostragem pois o volume de necromassa poderá ser subestimado se a linha interceptadora for orientada paralelamente às peças e superestimado se a linha interceptadora for orientada perpendicularmente às peças de necromassa (WONDENDORP et al., 2004). Para a quantificação de necromassa a partir das estimativas de volume obtidas por este método, é necessário conhecer as densidades das peças de necromassa conforme suas classes de decomposição (PALACE et al., 2012; HARMON e SEXTON, 1996).

De acordo com Waddell (2002) foram observadas três fontes de erro com a aplicação do método da linha transectal: a primeira indica que a fórmula assume que o formato das peças é cilíndrico, ignorando a conicidade dos troncos e fragmentos e assumindo que o ponto de interseção representa o ponto médio da peça mensurada, quando na realidade o cruzamento pode ocorrer em qualquer lugar ao longo da peça de necromassa. Uma segunda suposição na fórmula é que as peças de necromassa são orientadas aleatoriamente ao longo da área amostral e a terceira supõe que todas as peças estão dispostas horizontalmente sobre o solo, ignorando a possibilidade de haverem peças sustentadas acima de um ângulo sobre o chão.

A maioria dos países utiliza o método de área fixa para estimativa de necromassa de árvores mortas em pé, enquanto que para necromassa caída sobre o solo os métodos variam entre área fixa, linha transectal e em menor número, parcelas de raio variável ou estimativa ocular (a partir de observações). Em países com grandes áreas florestais e nos quais a necromassa representa riscos maiores de incêndios (como o Canadá e os Estados Unidos) observou-se a preferência pelo método da linha transectal (WOODALL et al., 2009).

Böhl e Brändli (2007) afirmaram que a amostragem por linhas interceptadoras é facilmente aplicável, mesmo em condições difíceis. Ritter e Saborowski (2012) indicaram este método por ser mais simples em relação à amostragem por área fixa e por ser facilmente praticável, mesmo quando há uma alta quantidade de peças.

3.3.2 Pesquisas em relação a necromassa

Existem diversos estudos envolvendo quantificação e avaliação da dinâmica de necromassa além de metodologias de inventário de necromassa, podendo ser citados alguns autores como Woldendorp et al. (2004) em florestas de eucalipto na Austrália, Böhl e Brändli (2007) para o IFN da Suíça, Chao et al. (2009) para a Floresta Amazônica, Clark et al. (2002) na Costa Rica, Pasher e King (2009) no Canadá, Woodall et al. (2013) para florestas nos Estados Unidos, entre outros citados ao longo do presente trabalho.

No Brasil, é menor a quantidade de pesquisas relativas a esta variável por ser um estudo mais recente no país, sendo que a maioria se concentra na região

Amazônica. Pode-se citar alguns estudos, como Sanquetta et al. (2014) em Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual, no Parque Nacional do Iguaçu – PR, Cruz Filho (2005) em florestas tropicais de Terra-Firme na Amazônia Oriental Brasileira, Galvão Filho (2010) na quantificação de resíduos de exploração madeireira em florestas nativas na Amazônia Brasileira, Deus (2015) na quantificação de necromassa por meio de amostragem por linhas interceptadoras e área fixa, em remanescente de Floresta Ombrófila Mista na região Centro-Sul do estado do Paraná, Cardoso et al. (2012) em estudo sobre a necromassa a partir das informações coletadas pelo IFN-SC, Maas (2015) em pesquisa acerca da necromassa em FOM Montana no estado do Paraná e Silva (2013) em seu estudo em fragmentos de Mata Atlântica Estacional no norte fluminense.

4 MATERIAL E MÉTODOS

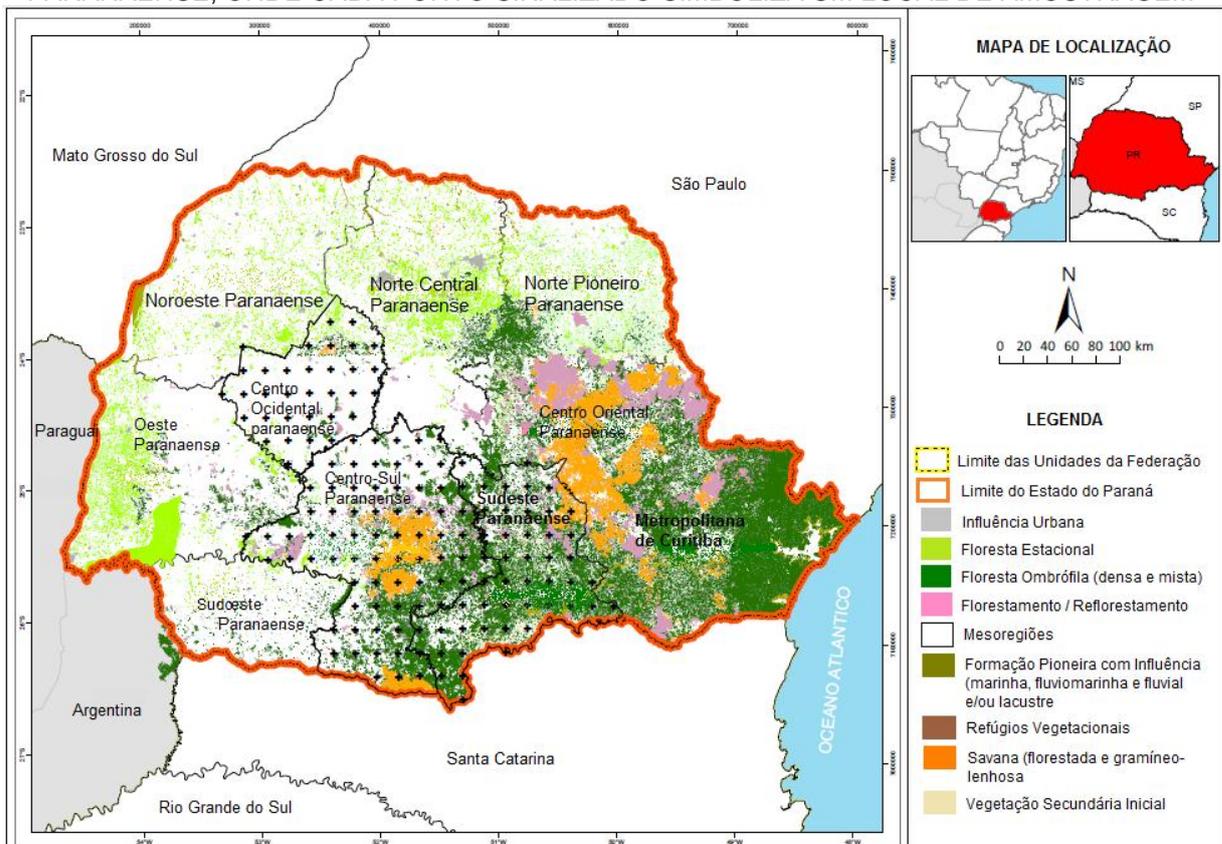
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização

O estado do Paraná, cuja área é de aproximadamente 201.000 km², abrange cerca de 2,5% da superfície brasileira. O Estado pertence à Região Sul e ao Planalto Meridional, localizando-se entre 22°29'33" e 26°42'59" latitude Sul e 48°02'24" e 54°37'38" longitude Oeste (TROPMAIR, 1990).

As áreas utilizadas na execução deste trabalho estão localizadas nas porções centro-sul, centro ocidental e sudeste paranaense (Figura 2).

FIGURA 2 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS DO INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL, NAS REGIÕES CENTRO-SUL, SUDESTE E CENTRO OCIDENTAL PARANAENSE, ONDE CADA PONTO SINALIZADO SIMBOLIZA UM LOCAL DE AMOSTRAGEM



FONTE: MANUAL DE CAMPO DO INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL (SFB, 2013).

4.1.2 Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região de estudo divide-se entre Cfb, em que o clima é temperado, com temperatura média do mês mais frio abaixo de 18°C e temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C, com verões frescos e sem estação seca definida; e Cfa, de clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio de 19,8°C e temperatura média no mês mais quente de 22°C, com verões quentes, e chuvas concentradas nos meses de verão, porém sem estação seca definida (Instituto Agronômico do Paraná, 2000).

4.1.3 Vegetação

Nas áreas de estudo ocorrem três distintas unidades fitogeográficas: Floresta Ombrófila Mista (ou Floresta com Araucária) (FOM), ocorrente predominantemente entre 800 e 1200 m s.n.m., onde estima-se que a flora arbórea contenha mais de 200 espécies; Floresta Estacional Semidecidual (FES), na porção oeste, entre 200 e 800 m s.n.m., com florística diferenciada e mais empobrecida em relação às formações ombrófilas; Estepe Gramíneo Lenhosa (EGL), de constituição essencialmente gramínoide e sobre terrenos suave ondulados e em menores proporções, Savana, com faciações campestres até florestadas (RODERJAN et al., 2002).

4.1.4 Solo

Nas regiões estudadas destacam-se os seguintes tipos de solos: os Latossolos vermelho-escuros, extremamente ácidos, com baixa fertilidade, suscetíveis ao processo de lixiviação intensa conforme o regime de chuvas; os podzólicos vermelho-amarelos, extremamente ácidos, bem desenvolvidos, profundos, com moderada fertilidade natural e facilmente erodíveis; os Latossolos roxos, solos minerais, não hidromórficos, muito profundos, podendo ser distróficos e álicos, de baixa fertilidade natural, e eutróficos de alta fertilidade natural (EMBRAPA, 1984); terra roxa estruturada, com solos profundos, argilosos, bem drenados e com elevada fertilidade natural; e litólicos, solos pouco profundos e muito suscetíveis à

erosão. Estão presentes, ainda, cambissolos, rasos, pouco drenados, pouco profundos e de limitado potencial para uso agrícola (MAACK, 1968).

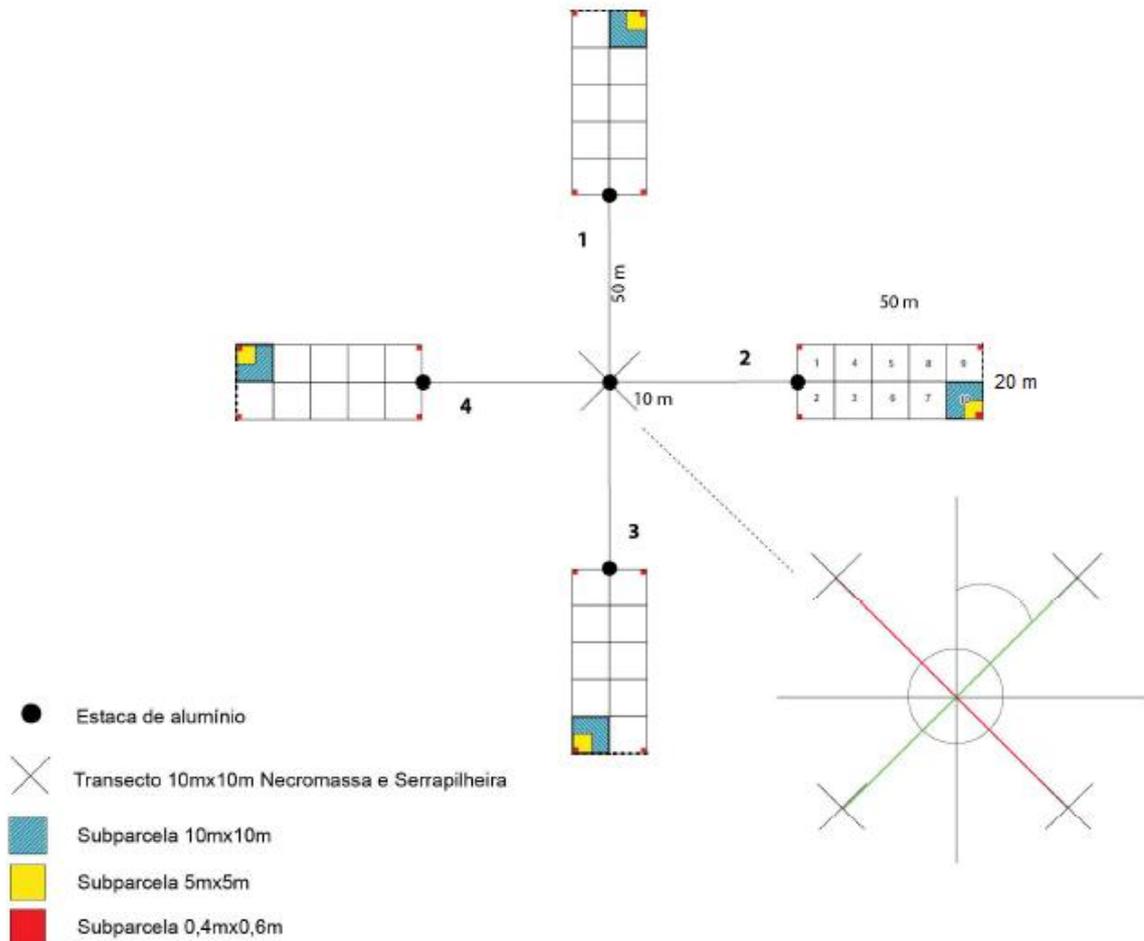
4.2 INVENTÁRIO FLORESTAL

A coleta dos dados ocorreu em 2013 durante o IFN e foi realizada conforme a metodologia proposta pelo SFB. Os pontos amostrais foram instalados equidistantes em 20 km entre si. O método de amostragem foi o de área fixa, utilizando conglomerados compostos de quatro subunidades perpendiculares entre si e equidistantes do ponto central. Os conglomerados têm a forma de cruz de malta, com quatro subunidades retangulares, orientadas na direção dos pontos cardeais e numeradas de um a quatro. Cada subunidade do conglomerado possui dimensões de 20m x 50m. Segundo Queiroz et al. (2011) a amostragem por conglomerados é indicada quando se deseja reduzir custos no trabalho de campo ou para populações de difícil acesso e que podem ser aglutinadas em um grupo.

Para a coleta de dados de necromassa, foi utilizado o método da linha interceptadora ou linha transectal (*Line Intercept Sampling*), descrita por Warren e Olsen (1964) e adaptado por Van Wagner (1968), que consiste (com o auxílio de uma bússola), na instalação de dois transectos de 10 m cada, no sentido sudeste/noroeste, a 45° em relação aos eixos perpendiculares das subunidades, partindo do ponto central (Figura 3).

As medições referentes a necromassa foram registradas no Formulário 4 do IFN, específico para medidas de diâmetros dos troncos e galhos mortos, para as alturas da serapilheira e dados de solo coletados.

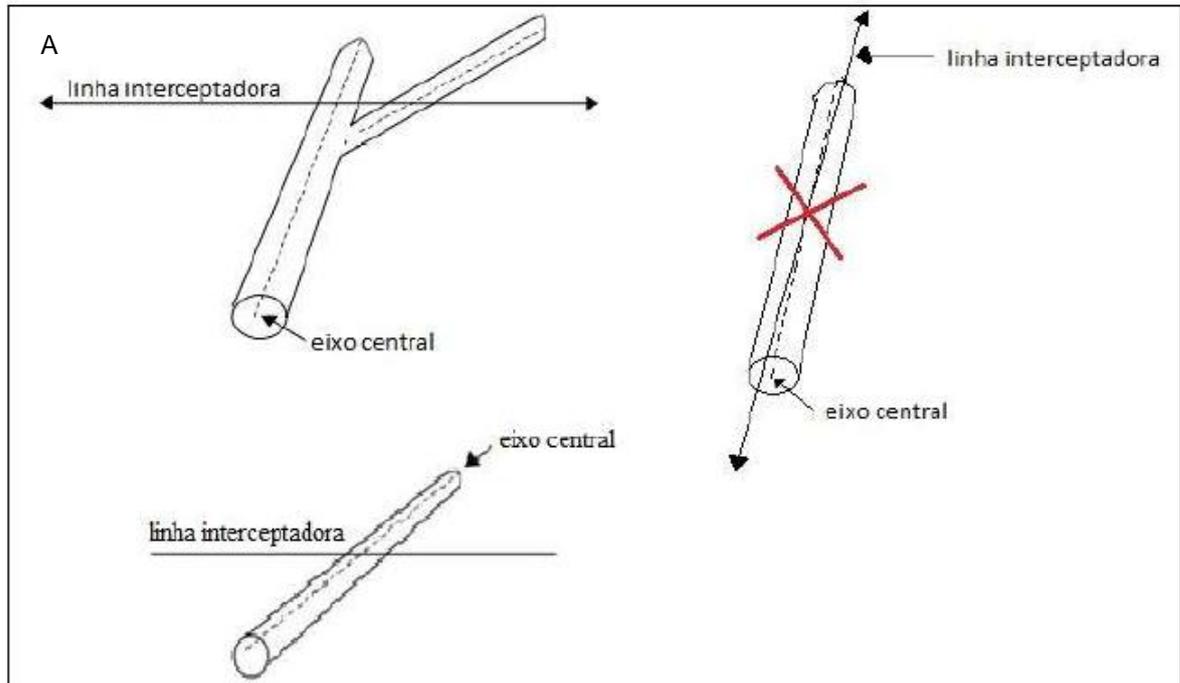
FIGURA 3 – INDICAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS TRANSECTOS NOS CONGLOMERADOS, PARA A COLETA DE DADOS DE NECROMASSA DO INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL



FONTE: ADAPTADO DO MANUAL DE CAMPO DO IFN (SFB, 2013).

Foram mensurados todos os galhos e troncos com diâmetros maiores que 2,5 cm, em estado variável de decomposição, que cruzassem os transectos ou a sua projeção vertical (galhos e troncos suspensos), exatamente do ponto do cruzamento (Figura 4).

FIGURA 4 – A) ESQUEMA DE INCLUSÃO OU NÃO DAS PEÇAS PELA LINHA TRANSECTAL B) LINHA TRANSECTAL CRUZANDO UMA ÁRVORE CAÍDA



FONTE: DEUS (2015).



FONTE: EQUIPE DE CAMPO DA PRIMEIRA FASE DO IFN-PR (2013).

Foram anotados os níveis de decomposição de cada peça, conforme apresentado no Quadro 3:

QUADRO 3 – NÍVEIS DE DECOMPOSIÇÃO DA NECROMASSA LENHOSA E SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS

Nível	Classe de decomposição	Características
1	Decomposição inicial	Casca intacta, presença de ramos e textura de madeira intacta.
2	Decomposição intermediária	Resquícios de casca, sem ramos e madeira firme.
3	Decomposição avançada	Sem casca, sem ramos e com madeira em estágio de decomposição médio a avançado, aparência esfarelenta.

FONTE: MANUAL DO IFN, SFB (2013).

Foram percorridos 152 conglomerados, dos quais houve medição de necromassa em 106 pontos amostrais. Os conglomerados restantes não se encontravam em áreas de cobertura florestal ou foi negado o acesso às equipes de campo. Dos 106 pontos amostrais, 110 transectos tiveram a necromassa mensurada.

Assumiu-se como valores de necromassa por conglomerado, a média dos cálculos entre os dois transectos de cada. Para conglomerados em que não foi registrada nenhuma peça em um de seus transectos, foi igualmente realizada a média entre os dois transectos.

4.3 CÁLCULOS

4.3.1 Volume de necromassa (V_n)

A estimativa do volume de necromassa (V_n) por unidade de área foi efetuada para cada transecto conforme a equação (1), proposta por Van Wagner (1968):

$$V_n = \left(\frac{\pi^2}{8 \cdot L} \right) * \sum_{i=1}^n d^2 \quad (1)$$

Em que:

Vn = volume de necromassa caída (m³.ha⁻¹);

L = comprimento dos transectos (m);

d = diâmetro das peças (cm).

4.3.2 Estoque de necromassa (W)

O estoque de necromassa (W) foi então estimado por meio da multiplicação do volume (Vn) pela densidade básica (D) dos materiais coletados (equação 2, proposta por Van Wagner (1968)):

$$W = D * \left(\frac{1,234}{L} \right) * \sum_{i=1}^n d^2 \quad (2)$$

Em que:

W = Estoque de necromassa estimada para o transecto (Mg.ha⁻¹);

D = densidade básica do material (Mg.m⁻³).

A densidade básica dos materiais geralmente é calculada por meio da relação entre o peso seco da madeira e o seu volume, quando em estado de completa saturação de água (FOELKEL, BRASIL E BARRICHELO, 1971). Neste trabalho foram utilizadas para cálculo de necromassa as densidades propostas por Maas (2015) para a região de Floresta Ombrófila Mista – PR, conforme a classe de decomposição dos materiais (Tabela 1).

TABELA 1 – DENSIDADE BÁSICA DA NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, CONFORME SUAS CLASSES DE DECOMPOSIÇÃO

Classe de decomposição	Densidade (Mg.m ⁻³)
1	0,46
2	0,35
3	0,24

FONTE: ADAPTADO DE MAAS (2015).

4.3.3 Estoque de carbono (C) na necromassa

O teor de carbono (TC) foi obtido do estudo de Maas (2015) para a região de FOM, conforme a classe de decomposição dos materiais (Tabela 2).

TABELA 2 – TEORES DE CARBONO DA NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (g.kg^{-1}) CONFORME A CLASSE DE DECOMPOSIÇÃO

Classe de Decomposição	Teor de carbono (g.kg^{-1})
1	437,7
2	429,6
3	424,6

FONTE: ADAPTADO DE MAAS (2015).

A partir do teor de carbono obtido, foi calculado o estoque de carbono na necromassa em cada unidade amostral, para cada classe de decomposição, conforme a equação (3):

$$C = \frac{W*TC}{1000} \quad (3)$$

Sendo:

C = Estoque de carbono na necromassa para cada classe de decomposição (Mg.ha^{-1});

W = Estoque de necromassa estimado (Mg.ha^{-1});

TC = Teor de carbono orgânico total da classe (g.kg^{-1}).

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

As variáveis observadas foram tratadas conforme descrito a seguir. O diâmetro das peças, volume de necromassa, estoque de necromassa e estoque de carbono foram tratados conforme sua distribuição de frequência. O Volume de necromassa, estoque de necromassa e estoque de carbono foram analisados por

meio da sua distribuição espacial. O estoque de necromassa foi correlacionado com as variáveis biométricas biomassa total aérea seca e profundidade de serapilheira e as unidades fitogeográficas tiveram seus estoques de necromassa comparados entre si.

4.4.1 Distribuição de frequência

As variáveis diâmetro das peças (dp em cm), volume de necromassa (Vn em m³.ha⁻¹) e estoque de necromassa (W em Mg.ha⁻¹) foram apresentadas por meio de sua distribuição de frequências. Os intervalos de classe foram pré-determinados, sendo para dp de 5 cm, para Vn de 20 m³ ha⁻¹, para W de 10 Mg.ha⁻¹ e para C de 5 Mg.ha⁻¹. O intervalo variou de 2,5 a 65 cm para dp, de 0 a 303,06 m³ ha⁻¹ para Vn, de 0 a 103,1 Mg.ha⁻¹ para W e de 0 a 43,79 para C.

4.4.2 Padrão espacial da distribuição da necromassa

O padrão espacial da distribuição da necromassa foi analisado por meio do Índice de Morisita (MORISITA, 1962), usado para a determinação do padrão espacial de espécies (SILVESTRE, 2009) e adaptado por Maas (2015) para determinar o padrão espacial da distribuição das peças de necromassa e o padrão espacial do volume de necromassa, conforme apresentado em (4):

$$I_{\delta} = q \left(\frac{\sum_{i=1}^q Xi^2 - \sum_{i=1}^q Xi}{(\sum_{i=1}^q Xi)^2 - \sum_{i=1}^q Xi} \right) \quad (4)$$

Em que:

I_{δ} = Índice de Dispersão de Morisita;

q = Número de unidades amostrais;

X_i = Vn por unidade de área (m³.ha⁻¹), expresso genericamente por Vn.

Nesse método, valores menores que 1,0 indicam distribuição uniforme, valores próximos a 1,0 indicam distribuição aleatória enquanto valores maiores que 1,0 indicam distribuição agregada (SOUZA et al., 2011).

Ademais, com o auxílio do *Software* ArcGIS 10.4 foram gerados mapas temáticos da distribuição de V_n , W e C , os quais foram considerados padrões pontuais que, conforme Druck et al. (2004), referem-se a fenômenos expressos por ocorrências identificadas como pontos localizados no espaço, denominados processos pontuais. Nesse procedimento foi possível analisar visualmente a distribuição de V_n , W e C na área de estudo.

4.4.3 Correlação da necromassa com outras variáveis biométricas na floresta

4.4.3.1 Biomassa total aérea da árvore individual

Foi realizada nos conglomerados de estudo do Inventário Florestal Nacional, a mensuração de diâmetro à altura do peito (dap) e altura total (ht) das árvores vivas acima de 10 cm de dap nas quatro subunidades dos conglomerados de estudo, e acima de 5 cm de DAP em uma das quatro unidades do conglomerado. Foram mensurados 17.655 indivíduos arbóreos.

A partir destes dados foi estimada a biomassa total aérea das árvores com dap acima de 5 cm, por meio da equação proposta por RATUCHNE (2015) para a região de FOM no estado do Paraná (5). Utilizou-se para cálculo, a soma das biomassas individuais de cada conglomerado. Foram considerados no cálculo conglomerados de 4000 m², mesmo em situações em que parte do conglomerado não se encontrava em área de cobertura florestal.

$$B = 0,03232 * dap^{2,64923} + 15,98866 * \log dap \quad (5)$$

Sendo que:

B = Biomassa aérea seca (kg);

dap = diâmetro à altura do peito (cm).

A correlação entre a biomassa e a necromassa foi testada por meio do teste de Spearman, uma vez que a necromassa não apresenta distribuição normal, mesmo após a aplicação de diversas transformações. O coeficiente de Correlação varia de -1 (correlação negativa perfeita) a +1 (correlação positiva perfeita). Ao se aproximarem de -1 e +1 os valores indicam correlação forte, enquanto valores próximos de zero indicam correlação fraca e valores iguais a zero referem-se à correlação nula (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

4.4.3.2 Serapilheira

Foram também realizadas cinco medições de profundidade de serapilheira (restos de vegetação e de animais em diferentes estágios de decomposição, que recobrem o solo), em cada unidade amostral, utilizando uma régua. As medições foram realizadas delimitando-se uma área circular de 1 m de raio, a partir do ponto central onde foi medida a altura em um ângulo de 90° em relação ao nível do solo. Foram realizadas mais quatro medições em cada ponta dos transectos. A partir da média entre as cinco medidas em cada ponto amostral, foi efetuado o cálculo de correlação entre a profundidade de serapilheira e a necromassa pelo Coeficiente de Correlação de Spearman.

4.4.4 Estatísticas descritivas

Foi testada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Embora tenha sido constatada a falta de normalidade dos dados, foi apresentada nesse trabalho a estatística descritiva paramétrica para processo de amostragem sistemática para as variáveis volume de necromassa, estoque de necromassa, estoque de carbono na necromassa, biomassa total aérea e profundidade de serapilheira, conforme apresentado no Quadro 4.

QUADRO 4 – ESTATÍSTICA PARA PROCESSO DE AMOSTRAGEM SISTEMÁTICA

Estimativas	Fórmulas
Média	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (xi)}{n}$ (6)
Variância	$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})}{n-1}$ (7)
Desvio Padrão	$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$ (8)
Variância da média	$S_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n(n-1)}$ (9)
Coefficiente de variação	$CV = \frac{S_x}{\bar{x}} * 100$ (10)
Erro Padrão	$S_{\bar{x}} = \sqrt{S_{\bar{x}}^2}$ (11)
Erro de Amostragem	
a) Erro Absoluto	$E_a = \pm t \cdot S_{\bar{x}}$ (12)
b) Erro Relativo	$E_r = \pm \frac{t \cdot S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100$ (13)
Intervalo de confiança	$IC = [\bar{x} - (t \cdot S_{\bar{x}}) \leq \bar{x} \leq \bar{x} + (t \cdot S_{\bar{x}})] = P$ (14)

Em que:

n = número de unidades amostradas;

x = variáveis Vn, W, C, Biomassa e Serapilheira;

t = Valor t da Tabela de *Student* para (n-1) graus de liberdade e nível de probabilidade de 95% ($\alpha=0,05$);

P = probabilidade fixada no inventário (95%).

4.4.5 Intensidade amostral

A intensidade amostral foi calculada em função da variância para populações infinitas.

$$n = \frac{t^2 * S_x^2}{E^2} \quad (15)$$

Em que:

$$E = (LE * \bar{x});$$

LE = limite de erro admitido no inventário (15%).

4.4.6 Comparação dos estoques de necromassa entre as unidades fitogeográficas

Foi calculado o percentual de peças de necromassa conforme a classe de diâmetro e a unidade fitogeográfica e o percentual em cada classe de decomposição conforme a unidade fitogeográfica. Os estoques de necromassa foram plotados em um Gráfico Box-Plot para facilitar a visualização das medianas conforme a unidade fitogeográfica e a dispersão dos valores, incluindo *outliers*.

Para as variáveis Vn, W e C foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade de erro para testar a normalidade, conforme apresentado em 7.

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (16)$$

Em que:

X_i = valores da amostra ordenados;

b = constante:

$$b = \sum_{i=1}^{n/2} a_{n-i+1} * (x_{(n-i+1)} - x_i) \text{ se } n \text{ é par}; \quad (17)$$

$$b = \sum_{i=1}^{(n+1)/2} a_{n-i+1} * (x_{(n-i+1)} - x_i) \text{ se } n \text{ é ímpar} \quad (18)$$

Em que:

a_{n-i+1} = valores tabelados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Do total de peças de necromassa mensuradas, aproximadamente 60% tinham o diâmetro menor que 5 cm, enquanto 29% tinham o diâmetro entre 5 e 10 cm, obtendo-se a soma de 89% na mensuração das peças de até 10 cm de diâmetro (Figura 5). Das 106 unidades amostrais, foram encontradas peças de tamanho superior a 20 cm, em 14 delas, totalizando 18 peças de necromassa, ou 4,70% do total amostrado.

Pauletto (2014), ao avaliar a necromassa em florestas amazônicas (Manaus – Amazonas), encontrou 61% de peças com diâmetro na classe de 10 a 30 cm. Silva (2013) em estudo em fragmentos de Mata Atlântica Estacional do norte fluminense, observou que 92% das peças tinham diâmetro entre 2 cm e 9,9 cm e somente 8% compunham as classes de diâmetro maiores que 10 cm. Clark et al. (2002), em estudo na Costa Rica com parcelas de área fixa, observou a presença de 78,2% das peças na classe de até 30 cm de diâmetro. Vários outros autores observaram a mesma tendência em relação ao tamanho das peças de necromassa (RAHMAN et al., 2008; SWEENEY et al., 2010; WOODALL et al., 2013; entre outros).

Do total de peças mensuradas, aproximadamente 20% enquadram-se na Classe 1 de decomposição, sendo que as classes 2 e 3 concentram 23% e 57% dos fragmentos, respectivamente (Figura 7).

Deus (2015) ao classificar o Vn por grau de decomposição em remanescente de Floresta Ombrófila Mista na região Centro-Sul do estado do Paraná, observou que a classe de decomposição avançada foi a mais representativa, com 11,38 m³.ha⁻¹ (70%), enquanto a intermediária com 3,75 (23%) e a inicial com 1,18 (7%), ocorrendo, portanto em menor quantidade. Cardoso, Vibrans e Ligner (2012) quantificaram a necromassa a partir de dados mensurados pelo IFN de Santa Catarina e apontaram que mais de 50% do volume das peças encontravam-se em decomposição avançada, ao passo que cerca de 40% do volume encontrava-se na classe intermediária e cerca de 3,3 a 5,7% referiam-se à classe inicial de decomposição.

Silva (2013) verificou que 68% das peças encontravam-se na classe de decomposição avançada, enquanto que as classes inicial e intermediária contribuíram com 9% e 23% do total, respectivamente. Pauletto (2014), em contrapartida, notou que a classe intermediária de decomposição apresentou predominância (de 56 a 73%) em relação às classes inicial e avançada (de 19 a 29% e de 8 a 20%, respectivamente).

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE AS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias e medianas para as variáveis volume de necromassa, estoque de necromassa, estoque de carbono, biomassa e serapilheira conforme a unidade fitogeográfica. Pode-se verificar que para todas as variáveis analisadas, as medianas possuem valores inferiores às médias, indicando que os conjuntos de dados possuem distribuição assimétrica à esquerda. Observa-se que na Unidade fitogeográfica Estepe Gramíneo Lenhosa as quantificações de necromassa e biomassa são elevadas, embora nesta fitofisionomia a vegetação predominante seja graminoide. Isso ocorre devido a realização do inventário em áreas florestadas.

TABELA 3 – VALORES MÉDIOS E MEDIANAS DAS VARIÁVEIS VOLUME DE NECROMASSA (Vn), ESTOQUE DE NECROMASSA (W), ESTOQUE DE CARBONO (C), BIOMASSA TOTAL AÉREA (B) E PROFUNDIDADE DE SERAPILHEIRA (Ser), CONFORME A UNIDADE FITOGEOGRÁFICA

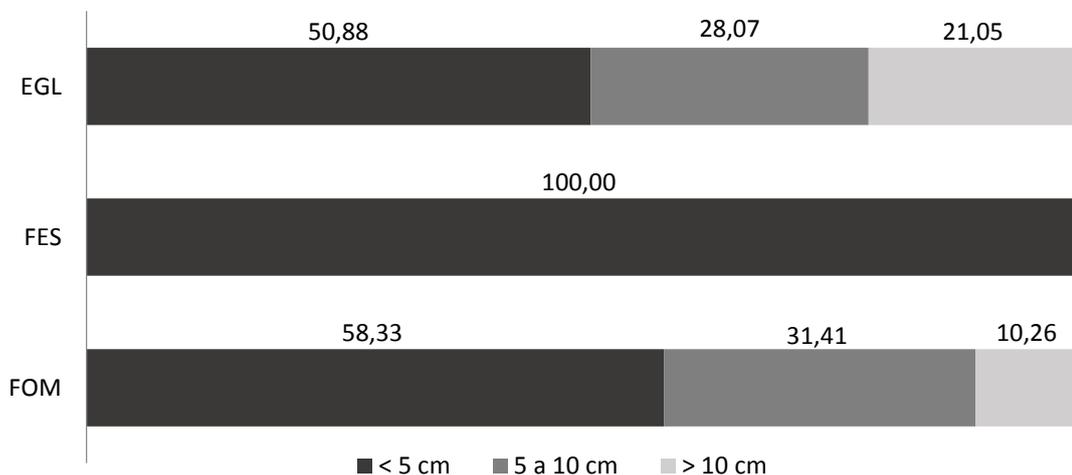
UF	n	Estimativas	Vn (m ³ .ha ⁻¹)	W (Mg.ha ⁻¹)	C (Mg.ha ⁻¹)	B (Mg.ha ⁻¹)	Ser (cm)
EGL	10	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
		Máximo	303,06	103,12	43,79	193,54	6,10
		Média	46,04	15,64	6,65	81,10	2,83
		Mediana	9,98	3,38	1,44	75,52	2,50
FES	7	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
		Máximo	3,19	1,15	0,49	63,59	6,90
		Média	1,37	0,49	0,21	23,42	2,24
		Mediana	0,99	0,36	0,15	17,57	1,72
FOM	89	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Máximo	275,56	72,00	31,51	299,71	31,32
		Média	18,59	6,21	2,65	53,41	3,50
		Mediana	2,36	0,85	0,36	37,57	2,30

FONTE: O AUTOR (2017).

LEGENDA: UF = Unidades Fitogeográficas; EGL = Estepe Gramíneo Lenhosa; FES = Floresta Estacional Semidecidual; FOM = Floresta Ombrófila Mista; n = NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS MENSURADAS; Vn = Volume de necromassa; W = Estoque de necromassa; C = Estoque de carbono.

Pode-se constatar na Figura 8 que todas as peças de necromassa mensuradas na Floresta Estacional Semidecidual tinham diâmetro inferior a 5 cm, enquanto que na Estepe Gramíneo Lenhosa e na Floresta Ombrófila Mista 50,88% e 58,33% das peças, respectivamente, encontravam-se nesta classe de diâmetro. A classe de diâmetro de 5 a 10 cm englobou 28,07% das peças na EGL e 31,41% das peças na FOM e a classe de diâmetro superior a 10 cm foi a que apresentou os menores percentuais: 21,05% na EGL e 10,26% na FOM.

FIGURA 5 - PERCENTUAL (%) DE PEÇAS EM CADA UNIDADE FITOGEOGRÁFICA CONFORME A CLASSE DE DIÂMETRO

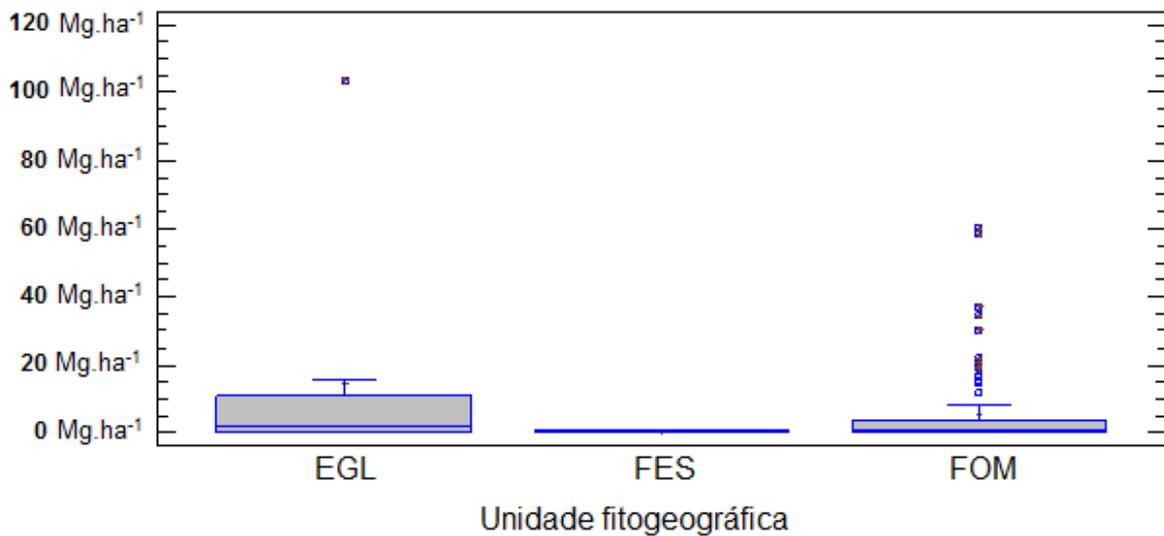


FUNTE: O AUTOR (2017).

LEGENDA: EGL = ESTEPE GRAMÍNEO LENHOSA; FES = FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL; FOM = FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.

A partir da plotagem dos estoques de necromassa por unidade fitogeográfica em um Gráfico *Box-Plot*, pode-se observar, que as medianas das três unidades fitogeográficas são semelhantes, porém a dispersão dos dados é muito maior na Estepe Gramíneo Lenhosa e na Floresta Ombrófila Mista, inclusive com a presença de vários *outliers*, indicados pelos pontos na Figura 9.

FIGURA 6 - MEDIANA DOS ESTOQUES DE NECROMASSA E DISPERSÃO DOS DADOS, INCLUINDO *OUTLIERS*, CONFORME A UNIDADE FITOGEOGRÁFICA



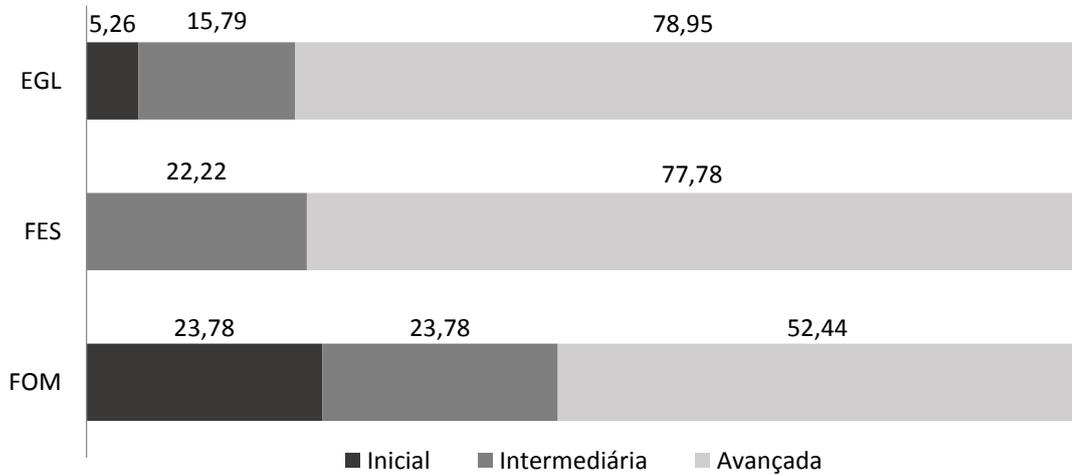
FONTE: O AUTOR (2017).

LEGENDA: EGL = ESTEPE GRAMÍNEO LENHOSA; FES = FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL; FOM = FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.

A presença dos *outliers* observados deve-se a quantificação de peças de necromassa com diâmetros elevados, peças estas, encontradas em maior quantidade na Floresta Ombrófila Mista, visto que esta é uma Unidade Fitogeográfica de maior diversidade florística em relação às demais analisadas no presente trabalho. Na Estepe Gramíneo Lenhosa apenas uma peça de necromassa possuía diâmetro elevado.

Na Figura 10 estão apresentados os percentuais de peças em cada classe de decomposição conforme a unidade fitogeográfica. Na Floresta Estacional Semidecidual a classe de decomposição inicial não abrangeu nenhuma peça. Para as três unidades fitogeográficas, a classe de decomposição avançada obteve os maiores percentuais de peças de necromassa.

FIGURA 7 – PERCENTUAL (%) DE PEÇAS EM CADA UNIDADE FITOGEOGRÁFICA CONFORME A CLASSE DE DECOMPOSIÇÃO



FONTE: O AUTOR (2017).

LEGENDA: EGL = ESTEPE GRAMÍNEO LENHOSA; FES = FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL; FOM = FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.

Por meio do teste de Shapiro-Wilk, foi constatada a não normalidade das variáveis Vn, W e C (Apêndice 1). Foi realizada então a transformação dos dados, entretanto não foi possível se aproximar da normalidade. Por esse motivo, a comparação da necromassa entre as três unidades fitogeográficas estudadas foi realizada por meio do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Por meio deste, foi observado que não houve diferença significativa entre elas (Apêndice 2). Assim, elas foram tratadas como sendo de uma única população (composta pelas três unidades fitogeográficas).

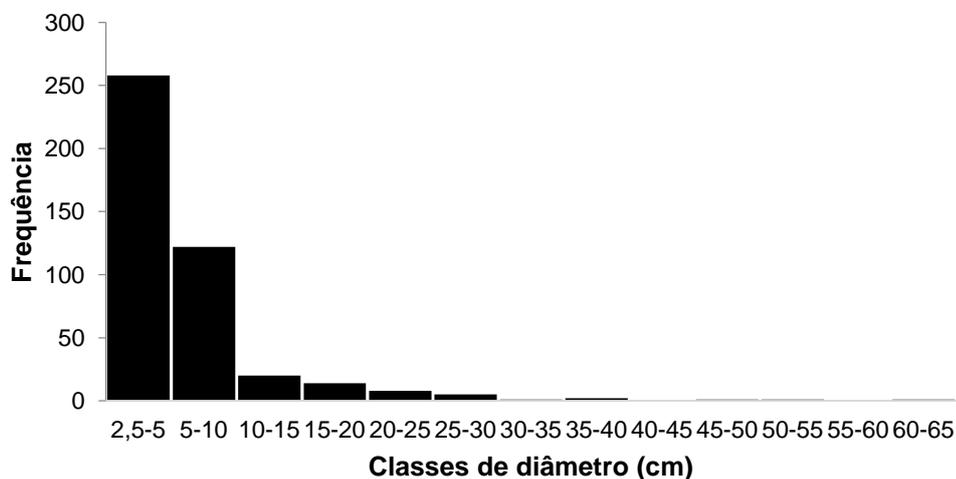
5.3 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA

O maior número de peças mensuradas se concentra na classe de diâmetro de 2,5 a 5 cm, ou seja, a maioria das peças possuía tamanhos pequenos, enquanto as peças com diâmetros maiores apresentaram frequências reduzidas, resultando em uma distribuição diamétrica do tipo “J invertido” (Figura 11). Segundo Cruz Filho (2015) esta concentração de peças nas classes menores de diâmetro deve-se à ocorrência de galhos e ramos caídos das copas e mesmo copas de árvores caídas,

enquanto que diâmetros elevados se referem aos troncos de árvores caídos sobre o solo.

Em consequência desta distribuição do número de peças por classe de diâmetro, as curvas de distribuição para V_n ($m^3 \cdot ha^{-1}$), W ($Mg \cdot ha^{-1}$) e C ($Mg \cdot ha^{-1}$) também apresentaram forma de “J invertido” pois as classes de volume e necromassa com maiores frequências foram as com valores inferiores, ao passo que as classes com valores superiores resultaram em menores frequências, conforme Figura 12 A, B e C.

FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DO NÚMERO DE PEÇAS DE NECROMASSA POR CLASSES DIAMÉTRICAS (cm)

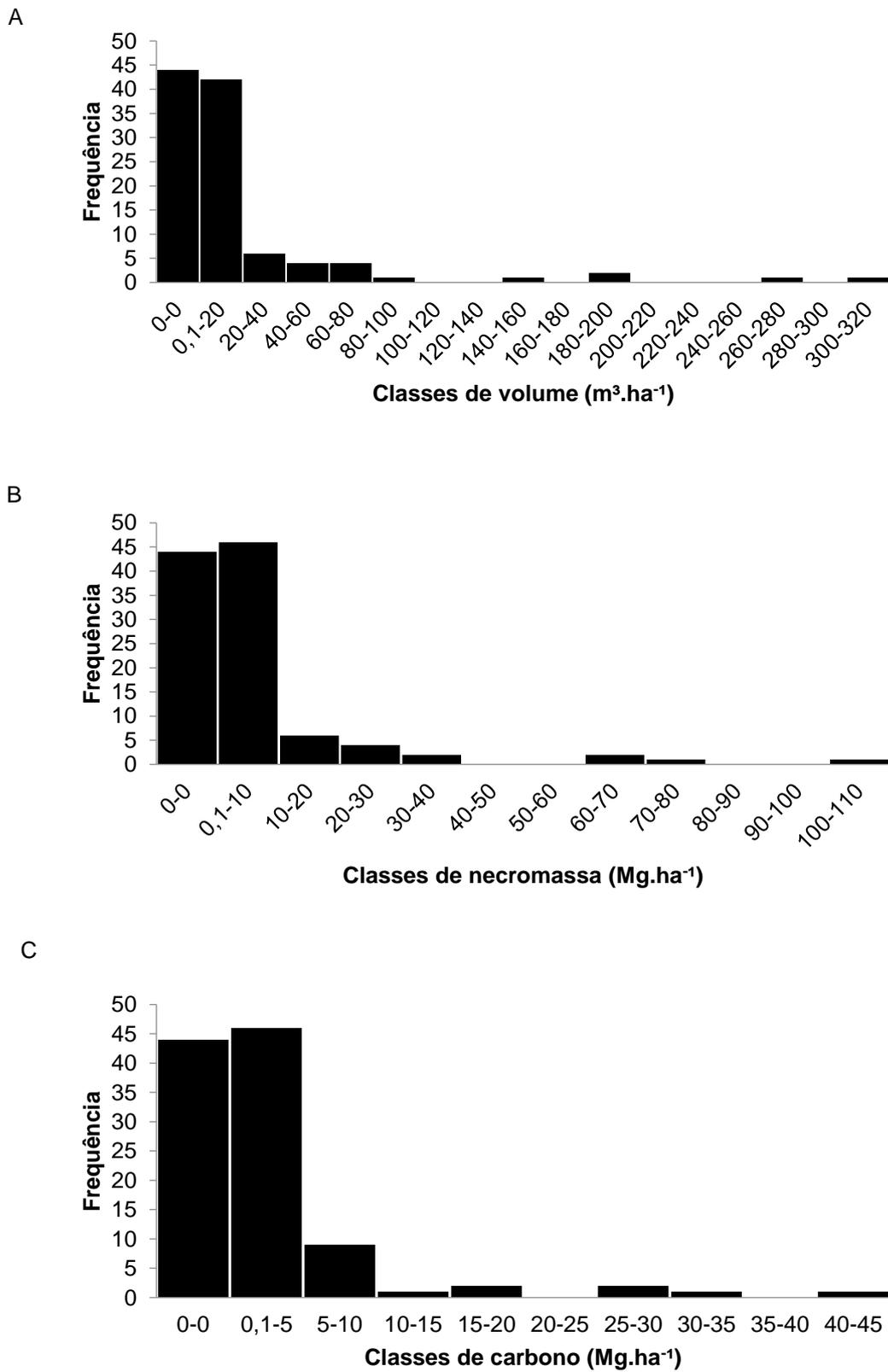


FONTE: O AUTOR (2017).

Cruz Filho (2015), ao analisar a quantidade de resíduos lenhosos grossos em florestas tropicais de Terra-firme na Amazônia Oriental Brasileira, verificou que aproximadamente 60% do total das peças concentravam-se na classe de diâmetros de 10 cm a 20 cm e entre a primeira e a segunda classe de diâmetros (10 cm a 30 cm) estavam concentradas 81% das peças.

Böhl e Brändli (2007), Ribeiro et al. (2012), Maas (2015), Higuchi (2015), Cisneiro et al. (2016) estudaram diferentes regiões fitogeográficas e observaram que a frequência dos diâmetros de necromassa também apresentou uma distribuição exponencial negativa (embora com variações na frequência e amplitudes de classes diamétricas), pois a maior parte das peças concentrava-se nas menores classes de diâmetro.

FIGURA 9 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS ABSOLUTAS DE A) V_n EM CLASSES DE V_n ($m^3 \cdot ha^{-1}$); B) W EM CLASSES DE W ($Mg \cdot ha^{-1}$) E C) C EM CLASSES DE C ($Mg \cdot ha^{-1}$)



FONTE: O AUTOR (2017).

5.4 ESTIMATIVA DO VOLUME, MASSA E TEOR DE CARBONO NA NECROMASSA

O volume de necromassa (V_n) apresentou grande variação (de 0 a 303,06 $m^3.ha^{-1}$), sendo a média entre todas as unidades amostrais, 20,04 $m^3.ha^{-1}$ e a mediana 2,35 $m^3.ha^{-1}$. Os valores mais elevados ocorreram devido a unidades amostrais que continham peças com diâmetros extensos. Os estoques de necromassa variaram de 0 a 103,12 $Mg.ha^{-1}$; sendo que a média encontrada foi de 6,72 $Mg.ha^{-1}$ e a mediana, 0,85 $Mg.ha^{-1}$. Os estoques de carbono na necromassa, conseqüentemente, apresentaram grande variação (de 0 a 43,79 $Mg.ha^{-1}$), cuja média foi de 2,87 $Mg.ha^{-1}$ e mediana 0,36 $Mg.ha^{-1}$ (Tabela 5). O estoque de carbono corresponde a 42,7% do estoque de necromassa. As três medianas apresentaram valores muito inferiores às médias, indicando que os dados apresentaram dispersão assimétrica à esquerda. A moda para os três conjuntos de valores foi zero, indicando ser este o valor mais frequente.

TABELA 4 – VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MÉDIOS PARA AS VARIÁVEIS VOLUME DE NECROMASSA ($m^3.ha^{-1}$), ESTOQUE DE NECROMASSA ($Mg.ha^{-1}$) E ESTOQUE DE CARBONO ($Mg.ha^{-1}$)

Cálculos	Volume de necromassa ($m^3.ha^{-1}$)	Estoque de necromassa ($Mg.ha^{-1}$)	Estoque de Carbono ($Mg.ha^{-1}$)
Mínimo	0	0	0
Máximo	303,06	103,12	43,79
Média	20,04	6,72	2,87
Mediana	2,35	0,85	0,36

FONTE: O AUTOR (2017).

Vários autores empregaram a metodologia de linhas transectais para quantificação de necromassa e obtiveram os resultados apresentados a seguir: Cardoso et al. (2013) encontrou volume de necromassa caída de 29,5 $m^3.ha^{-1}$ para a FOD (Amazônia); 18,7 $m^3.ha^{-1}$ para FOM em Colombo – PR; 37,9 $m^3.ha^{-1}$ para a FOM do Planalto Catarinense; 22,2 $m^3.ha^{-1}$ para a FED do Alto Uruguai e FOM do Oeste Catarinense; 0,3 $m^3.ha^{-1}$ para a região da Caatinga e 9,3 $m^3.ha^{-1}$ para a região

do Cerrado. Cardoso et al. (2012) para o Inventário Florestal de Santa Catarina, encontrou para a FED um volume de necromassa de 23,71 m³.ha⁻¹, para a FOM, 29,31 m³.ha⁻¹, para a FOD, 22,13 m³.ha⁻¹ e para a restinga um volume de 9,15 m³.ha⁻¹.

Galvão Filho (2010) quantificou resíduos da produção madeireira em florestas nativas da Amazônia Brasileira e encontrou volumes de 77,3 m³.ha⁻¹ e 63,25 m³.ha⁻¹ e considerou a exclusão de 4 peças consideradas *outliers* extremos. Ribeiro et al. (2012) obtiveram uma média de necromassa caída de 27,11 m³.ha⁻¹ em um remanescente de FOM localizado no Campus III da Universidade Federal do Paraná em Curitiba - PR. Deus (2015) para a FOM estimou o volume de madeira morta caída em 16,31 m³.ha⁻¹.

Pasher e King (2009) no Gatineau Park, no Canadá, obtiveram 3,94 a 199,05 m³.ha⁻¹, cuja média foi de 63,24 m³.ha⁻¹. Palace et al. (2007) nas regiões de Juruena, no Mato Grosso e Tapajós, no Pará verificaram uma variação de 9,3 a 22,4 m³.ha⁻¹ para o volume e para de 5,3 a 13,9 Mg.ha⁻¹ a massa de necromassa.

Quanto às classes de decomposição foram calculados o volume (m³.ha⁻¹), o estoque de necromassa (Mg.ha⁻¹) e o estoque de carbono (Mg.ha⁻¹) para cada classe e verificou-se que a classe 1 (inicial) compreendeu os menores resultados para as três variáveis analisadas, porém esses valores apresentaram-se muito similares aos da classe 2 (intermediária), enquanto que a classe 3 (avançada) resultou em valores superiores em relação às demais classes (Tabela 6), o que evidencia a maior quantidade de peças em estado avançado de decomposição.

TABELA 5 – VOLUME DE NECROMASSA (m³.ha⁻¹), ESTOQUE DE NECROMASSA (Mg.ha⁻¹) E ESTOQUE DE CARBONO (Mg.ha⁻¹) CONFORME A CLASSE DE DECOMPOSIÇÃO

Classe de decomposição	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	Necromassa (Mg.ha ⁻¹)	Carbono (Mg.ha ⁻¹)
1	4,10	1,38	0,59
2	4,58	1,54	0,66
3	11,36	3,81	1,63
Total	20,04	6,72	2,87

FONTE: O AUTOR (2017).

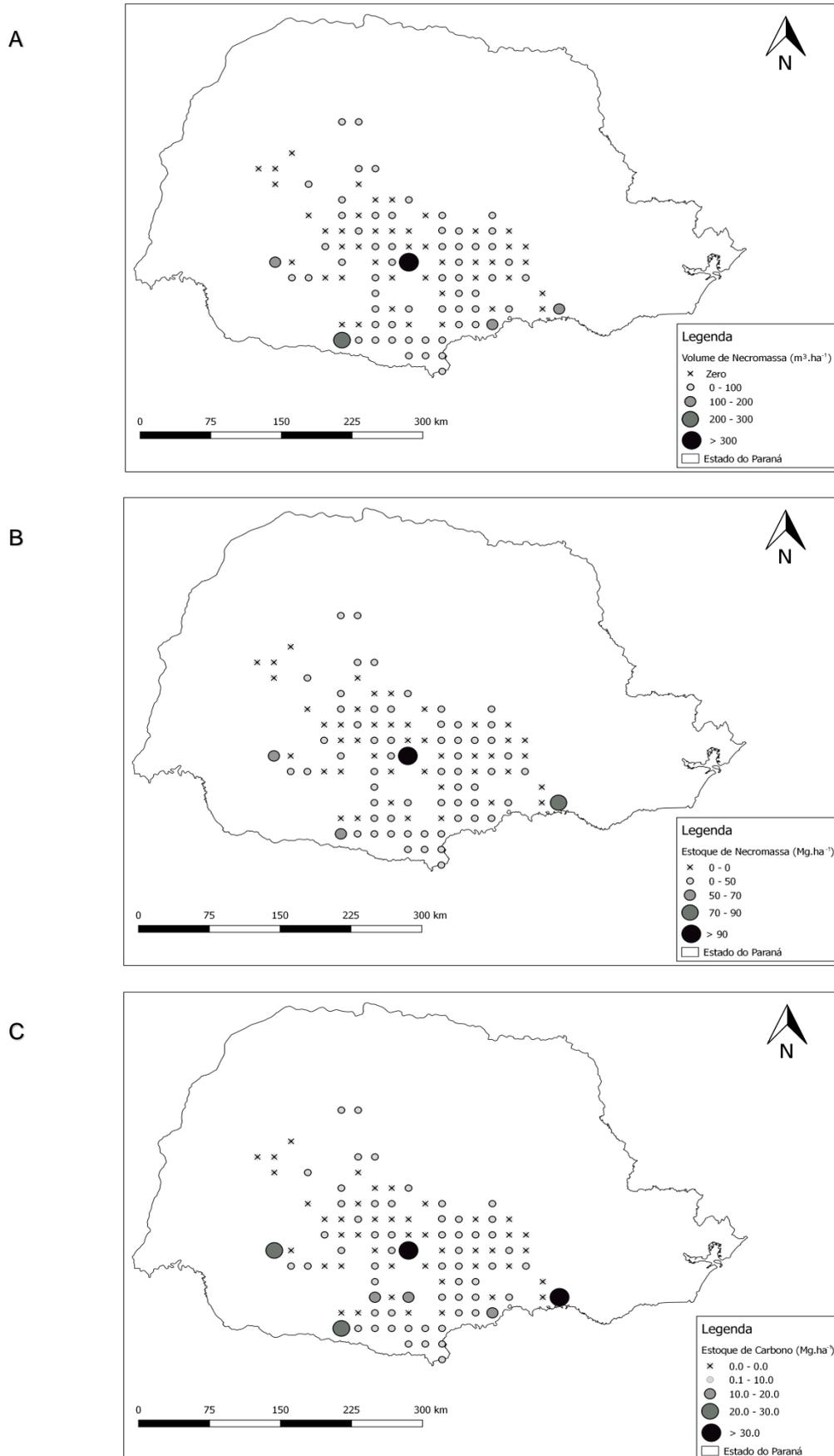
Maas (2015) calculou o volume e massa de necromassa e estoque de carbono para a necromassa lenhosa grossa em fragmento de FOM e notou que a classe 2 de decomposição (intermediária) resultou em valores inferiores para as três variáveis calculadas em relação às outras classes. Deus (2015), para a mesma unidade fitogeográfica, percebeu que a classe de decomposição 3 obteve valores muito superiores de V_n ($11,38 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$) em comparação aos das classes 1 e 2 ($1,18 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e $3,75 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, respectivamente). Em relação à massa de necromassa não houve diferença tão expressiva (classe 1 com $0,50 \text{ Mg}.\text{ha}^{-1}$; classe 2 com $1,35 \text{ Mg}.\text{ha}^{-1}$ e classe 3 com $3,4 \text{ Mg}.\text{ha}^{-1}$). Estes autores observaram a mesma tendência encontrada no presente trabalho, ou seja, que a classe de decomposição avançada foi a mais representativa em relação às classes inicial e intermediária, porém, diferindo na intensidade de variação de cada classe de decomposição.

5.5 PADRÃO ESPACIAL DA DISTRIBUIÇÃO DA NECROMASSA

O cálculo do padrão espacial das peças pelo Índice de Morisita resultou no valor 4,17 e o cálculo do padrão espacial do volume de necromassa resultou no valor 7,14, ou seja, para as duas variáveis, o Índice de Morisita indicou haver dependência espacial, pois nos cálculos considerou-se a alta concentração de unidades amostrais com valores de necromassa iguais a zero. Adicionado a essa análise, considerou-se também a análise visual da distribuição de necromassa.

A partir da análise espacial do volume de necromassa, estoque de necromassa e de carbono foram produzidos três mapas, que compõe a Figura 13 A, B e C, em que se observam os padrões pontuais de necromassa em todas as unidades amostrais de estudo. Enquanto os pontos maiores simbolizam as unidades amostrais com maiores volumes de necromassa, os pontos de menor tamanho indicam as unidades amostrais de volumes inferiores.

FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DO A) VOLUME DE NECROMASSA ($m^3 \cdot ha^{-1}$); B) ESTOQUE DE NECROMASSA ($Mg \cdot ha^{-1}$) E C) ESTOQUE DE CARBONO ($Mg \cdot ha^{-1}$)



FONTE: O AUTOR (2017).

É possível visualizar que os valores encontram-se dispersos por toda a extensão da área de estudo, indicando ausência de dependência espacial. Este resultado deve-se à complexidade e inconstância da variável de estudo.

Pasher e King (2009) ao mapear de modo contínuo e extenso a distribuição espacial da necromassa no Gatineau Park (cerca de 20 a 50 km a noroeste da cidade de Ottawa, no Canadá) observaram a mesma tendência, ou seja, esta variável distribuía-se de maneira desigual em toda a área de estudo.

Ressalta-se o escasso número de pesquisas que relatam a distribuição espacial da variável necromassa. Os principais trabalhos analisam a distribuição espacial de espécies, sendo, portanto, necessários mais estudos que visem obter este tipo de informação.

5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

5.6.1 Estatística do inventário

As estatísticas descritivas dos dados de volume de necromassa, estoque de necromassa e estoque de carbono calculados para as três unidades fitogeográficas em conjunto estão apresentadas na Tabela 7. Embora as médias para as três variáveis calculadas entre as unidades amostrais mostrem-se admissíveis, as variâncias foram muito elevadas, indicando que estas variáveis não são distribuídas de maneira homogênea na floresta. O erro relativo e o Coeficiente de variação revelaram-se elevados, ainda que se esperem erros significativos em vista da heterogeneidade das variáveis consideradas. Esse resultado ocorreu devido às parcelas em que não foram identificadas peças de necromassa.

TABELA 6 – ESTATÍSTICA DO INVENTÁRIO PARA AS VARIÁVEIS VOLUME DE NECROMASSA (Vn), ESTOQUE DE NECROMASSA (W) E ESTOQUE DE CARBONO (C) PARA AS TRÊS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS ANALISADAS EM CONJUNTO

ESTIMATIVAS	Vn	W	C
Média	20,04 m ³ .ha ⁻¹	6,72 Mg.ha ⁻¹	2,87 Mg.ha ⁻¹
Variância	2507,91 (m ³ .ha ⁻¹) ²	257,86 (Mg.ha ⁻¹) ²	47,09 (Mg.ha ⁻¹) ²
Desvio padrão	50,08 m ³ .ha ⁻¹	16,06 Mg.ha ⁻¹	6,86 Mg.ha ⁻¹
Variância da média	23,66 (m ³ .ha ⁻¹) ²	2,43 (Mg.ha ⁻¹) ²	0,44 (Mg.ha ⁻¹) ²
Coefficiente de variação	249,92%	238,98%	239,18%
Erro padrão	4,86 m ³ .ha ⁻¹	1,56 Mg.ha ⁻¹	0,67 Mg.ha ⁻¹
Erro absoluto	9,64 m ³ .ha ⁻¹	3,09 Mg.ha ⁻¹	1,32 Mg.ha ⁻¹
Erro relativo	48,13 %	46,03 %	46,06 %
IC – LI	10,39 m ³ .ha ⁻¹	3,63 Mg.ha ⁻¹	1,55 Mg.ha ⁻¹
IC – LS	29,68 m ³ .ha ⁻¹	9,81 Mg.ha ⁻¹	4,19 Mg.ha ⁻¹

FONTE: O AUTOR (2017).

Deus (2015) encontrou valores elevados para os três métodos de amostragem: linhas interceptadoras, parcelas de área fixa de 50 m x 50 m e de 10 m x 50 m (CV de 117,1%, 48,29% e 75,09%, respectivamente). Cardoso et al. (2012), semelhantemente, encontraram CV para a restinga de 52,46%, para a Floresta Ombrófila Densa de 118,9%, para a Floresta Ombrófila Mista de 149,06% e para a Floresta Estacional Decidual de 228,63%, para o Estado de Santa Catarina.

5.6.2 Intensidade amostral

Foi calculada a Intensidade amostral para o presente estudo considerando os erros amostrais de 20% e 15% (Tabela 8). Segundo Cardoso et al. (2012) embora seja desejável um erro amostral de até 10%, o erro de 15% pode ser admissível devido à heterogeneidade da variável necromassa. Brown (1974) citado por Ribeiro et al (2012) afirma que erros amostrais de 20% são adequados para avaliar esta variável. Pode-se observar que tanto para o limite de erro de 20% como para 15%, seria necessário um número maior de unidades amostrais para quase todas as

variáveis estimadas. Apenas para a variável biomassa aérea individual, para o limite de erro de 20%, o número de unidades amostrais mensuradas foi suficiente.

TABELA 7– INTENSIDADE AMOSTRAL CALCULADA PARA AS VARIÁVEIS VOLUME DE NECROMASSA (Vn), ESTOQUE DE NECROMASSA (W), ESTOQUE DE CARBONO (C), BIOMASSA E SERAPILHEIRA, PARA AS TRÊS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS EM CONJUNTO, A FIM DE ALCANÇAR ERROS AMOSTRAIS DE 20% E 15%

ESTIMATIVAS	L.E.	Vn	W	C	Biomassa	Serapilheira
	Admissível					
Intensidade amostral	20%	602	556	552	90	145
	15%	1069	982	979	158	256
Número de u.a. mensuradas	-	106	106	106	106	106
Erro amostral relativo (%)	-	48,13	46,03	46,06	18,4	23,45

FONTE: O AUTOR (2017).

Higa et al. (2014) recomendam tanto para florestas nativas quanto plantadas, a instalação de transectos com 10 m a 30 m de comprimento, sendo que 3 transectos por parcela devem ser mensurados, devendo distribuir-se aleatoriamente na parcela.

Para uma área de 9,5 ha em um remanescente de FOM, Ribeiro et al. (2012) estabeleceram 40 conglomerados (totalizando 160 subunidades) e concluíram que esta intensidade amostral foi satisfatória pois os valores calculados de erro padrão e erro amostral foram baixos (8% e 16%, respectivamente).

Cardoso et al. (2013) avaliaram diferentes comprimentos de transecto para determinação de necromassa caída e constataram que a intensidade amostral estimada para atingir erros amostrais de 10 e 15% decresce com o aumento do comprimento dos transectos, sendo que transectos maiores que 50 m não contribuem significativamente para o aumento na precisão dos resultados. Os autores afirmaram ainda que a adoção do comprimento de 10 m pode mostrar-se vantajosa, uma vez que embora exija maior número de transectos a mensurar e resulte em maior coeficiente de variação (CV), permite menor distância total de caminhamento.

Wondendorp et al. (2004) estudaram diferentes comprimentos de transecto e verificaram que o CV diminuiu com o aumento do transecto, sendo que a redução do

CV foi maior para o aumento de 10 m para 40 m e menor para transectos acima de 40 m. Os autores declararam que a variabilidade dos valores de necromassa é elevada, portanto, para obter estimativas com alta acuracidade é necessário consequentemente, uma alta intensidade de amostragem, sendo que a variável que mais interfere na exatidão das estimativas é o comprimento do transecto.

Böhl e Brändli (2007) relataram que a redução do comprimento da linha transectal de 30 m para 10 m resultaria em um aumento de aproximadamente 60% no erro padrão da estimativa e a redução do comprimento de 30 m para 20 m resultaria no aumento do erro padrão de aproximadamente 20%.

Estes estudos, em conjunto com os resultados observados pelo cálculo de intensidade amostral no presente trabalho, reforçam a necessidade de mais pesquisas relativas ao número e ao comprimento ideal dos transectos, a fim de serem reduzidos os erros amostrais relativos e alcançadas as intensidades amostrais desejáveis.

5.7 CORRELAÇÃO DA NECROMASSA CAÍDA E SUSPENSA SOBRE O SOLO COM OUTRAS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS NA FLORESTA

Conforme é exposto na Tabela 9, a estimativa de biomassa efetuada pela equação proposta por Ratuchne (2015) para DAP maior que 5 cm, variou de 0 a 299,71 Mg.ha⁻¹, com uma média de 54,04 Mg.ha⁻¹. Visto que a média calculada de necromassa caída foi de 6,72 Mg.ha⁻¹, este estoque compreende 11,06% da média de biomassa aérea seca. Segundo a Avaliação de Recursos Florestais Globais (FRA, 2015) que utilizou dados oriundos de estimativas propostas pelo IPCC (2014) para o bioma Mata Atlântica no Brasil, a necromassa corresponde a 4,57% da biomassa acima do solo. Para todos os biomas do Brasil, o relatório informa que a necromassa corresponde a 7,03% da biomassa acima do solo. Maas (2015) para quantificação efetuada em 2013 em fragmento de FOM, verificou que o estoque de necromassa correspondia a 5,53% do estoque de biomassa acima do solo. Cardoso Vibrans e Ligner (2012) para o Inventário de Santa Catarina observaram que a necromassa caída correspondia a 8,5% do total da biomassa aérea para a região de Floresta Ombrófila Mista.

Ao aplicar-se o Índice de Correlação de Spearman para analisar a correlação entre a biomassa e a necromassa caída do conjunto de dados, este resultou no valor de 0,28, o qual indica correlação fraca entre os conjuntos de dados.

Os valores médios de profundidade de serapilheira resultaram em uma média geral de 3,36 cm, sendo o valor inferior 0,00 cm e o valor superior 31,32 cm. O resultado do Índice de Correlação de Spearman, aplicado para avaliar a correlação entre a necromassa e a profundidade de serapilheira foi de 0,20, isto é, indicando correlação baixa entre o conjunto de dados.

TABELA 8 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA AS VARIÁVEIS BIOMASSA SECA AÉREA ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) E PROFUNDIDADE DE SERAPILHEIRA (cm); E COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO COM A NECROMASSA

Valores	Biomassa aérea para dap > 5cm	Profundidade de Serapilheira
Mínimo	0 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	0 cm
Máximo	299,71 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	31,32 cm
Média	54,04 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	3,36 cm
Variância	2665,45 ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ²	16,71 (cm) ²
Desvio padrão	51,63 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	4,09 cm
Variância da média	25,15 ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ²	0,16 (cm) ²
Erro padrão	5,01 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	0,40 cm
Erro absoluto	9,94 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	0,79 cm
Erro relativo	18,40 %	23,45 %
Intervalo de confiança	$44,10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1} \leq \bar{x} \leq 63,98 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1} = 95\%$	$2,57 \text{ cm} \leq \bar{x} \leq 4,14 \text{ cm} = 95\%$
Coeficiente de Spearman	0,28	0,20

FONTE: O AUTOR (2017).

Chao et al. (2009) afirmaram que a necromassa possui maior relação com a dinâmica da floresta do que com a biomassa. Em contrapartida, Woodall et al. (2013) em florestas nos Estados Unidos, observaram uma tendência geral de aumento da necromassa à medida que aumenta a biomassa de árvores em pé (vivas e mortas). Rahman et al. (2008) chegaram a um valor de 0,39 ao calcular a relação entre o volume de árvores vivas e necromassa.

Matos (2008) não encontrou correlação significativa entre as variáveis biomassa e necromassa, porém ao correlacionar a biomassa com variáveis ambientais encontrou correlação positiva.

Não foram encontrados trabalhos que empregassem a variável profundidade de serapilheira, portanto não foi possível a comparação referente a esta variável. Em vista disso, discutiu-se este resultado com trabalhos relacionados à quantidade de serapilheira.

Caldeira et al. (2007) relataram uma correlação de -0,28 entre a serapilheira acumulada e a produção de biomassa de madeira, o que indica ausência de tendência entre estas variáveis. Alguns trabalhos relacionam a quantidade de serapilheira com outras variáveis da floresta, como Maas (2015), Sanquetta et al. (2016) e Cisneiro et al. (2016) que relacionaram a produção de serapilheira com variáveis meteorológicas. Variáveis meteorológicas, como a precipitação e a temperatura influenciam muito a quantidade de serapilheira, bem como a época do ano em que o inventário foi realizado, fatores estes, que dificultam a análise do presente trabalho.

6 CONCLUSÕES

- Os resultados obtidos para a quantificação de necromassa caída e suspensa sobre o solo (volume de necromassa, estoque de necromassa e estoque de carbono; bem como a análise de distribuição de frequência das peças de necromassa) mostram-se análogos a outros estudos cujo propósito era o mesmo.
- As análises estatísticas demonstram não haver diferenças significativas entre as unidades fitogeográficas quanto à quantificação de necromassa caída.
- Há ausência de normalidade e ausência de dependência espacial para o conjunto de dados, indicando a heterogeneidade da variável necromassa nas regiões de estudo.
- Constata-se ausência de correlação significativa entre a necromassa caída e as variáveis: biomassa aérea seca e profundidade de serapilheira.
- A intensidade amostral do estudo mostra-se insuficiente para todas as variáveis analisadas, resultando em um elevado erro amostral das estimativas.
- Confirma-se a importante participação da necromassa no total da biomassa florestal aérea.

7 RECOMENDAÇÕES

- Recomendam-se pesquisas quanto à densidade básica da madeira por classe de decomposição e classe de diâmetro; e teores de carbono por classe de decomposição e classe de diâmetros para cada unidade fitogeográfica a fim de que sejam gerados resultados mais seguros sobre quantificação de necromassa.
- São necessários estudos que esclareçam os fatores que determinam a quantidade de necromassa caída, bem como estudos que relatem o comportamento espacial desta variável.
- O erro amostral das estimativas encontrado é elevado, por conseguinte, recomendam-se maiores estudos relativos ao número de unidades amostrais necessárias e ao comprimento das linhas transectais a fim de serem atingidos menores erros amostrais, aumentando, portanto, a confiabilidade nas estimativas de necromassa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, T. R.; CHAO, K. J. Manual para medições de detritos de madeira grossa em parcelas RAINFOR. v. 2, p.10, maio, 2011.

BARBOSA, R. I.; SILVA, L. F. S. G.; CAVALCANTE, C. O. Protocolo necromassa: Estoque e produção de liteira grossa. Boa Vista, **Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio)**, Núcleo Regional de Roraima, Roraima, p. 23, 2009.

BÖHL, J.; BRÄNDLI, U. B. Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory: methods and first results. **European Journal of Forest Research**, v. 126, p. 449-457, 2007.

BROWN, S. Measuring carbon in forests: Current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 363-372, jul. 2002.

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

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101 – 116, 2007.

CALDENTEY, J. Acumulación de biomassa em rodales naturales de *Nothofagus pumilio* em tierra Del fuego, Chile. **Investigación Agrária Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v. 4, n. 2, p. 165-175, 1995.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, p. 255, 2003.

CARDOSO, D.J.; VIBRANS, A.C.; LINGNER, D.V. Inventário da necromassa florestal caída no chão nos remanescentes florestais em Santa Catarina. In: VIBRANS, A.C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A.L. DE; LINGNER, D.V. (eds.). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, v. I, c.11, p. 217-227 Diversidade e conservação dos remanescentes florestais. Blumenau, SC. Edifurb, 2012.

CARDOSO, D. J.; VIBRANS, A. C.; REZENDE, A. V.; PAREYN, F. C.; FREITAS, J. V.; ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. Determinação do comprimento ótimo de transectos para estimativa de necromassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 317-325, jul. /set. 2013.

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

CISNEIRO, A. C.; CYRINO, V. M. E.; SILVA, V. D.; REIS, B. N.; GUEDES, T.; VILLELA, D. M. Estoque e respiração heterotrófica da necromassa na borda e interior de um fragmento de Mata atlântica na Reserva União – RJ. In: I Encontro de pesquisadores da reserva Biológica União. Centro de vivência, Reserva Biológica União. 10 e 11 de novembro de 2016.

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**, v. 164, p. 237-248, 2002.

CRUZ FILHO, D. **Avaliação da quantidade de resíduos lenhosos em área de floresta explorada e não explorada, utilizando amostragem por linha interceptadora, no médio Rio Moju, Pará, Brasil**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2005.

DEUS, K. H. P. **Estoque de necromassa lenhosa em floresta ombrófila mista usando diferentes métodos de amostragem**. 76 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2015.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – (Embrapa). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA, Londrina: IAPAR, 1984, v. 2, p. 57. Boletim técnico.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas**. IPEF n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Global Forest Resources Assessment 2010**. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations. Forestry Department, 2010. 163 p. Relatório.

GALVÃO FILHO, A. F. **Avaliação da aplicabilidade do método de amostragem por linhas interceptadoras na quantificação de resíduos de exploração florestal nas condições de uma floresta de terra firme na Amazônia Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2010.

GOUGOULIAS, C.; CLARK, J. M.; SHAW, L. J. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. **Journal of the Science and Agriculture**, v. 94, p. 2362-2371, 2014.

HARMON, M. E.; SEXTON, J. Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. **US LTER Network Office**, University of Washington, Seattle, WA, USA, n. 20, 1996.

HIGA, 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**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2014.

HIGUCHI, F. G. **Dinâmica de volume e biomassa da floresta de terra firme do Amazonas**. 201 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em 06/07/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2015: Synthesis Report**. Genebra, Suíça, p.151, 2014.

SFB. 2013. Serviço Florestal Brasileiro. Curso de Capacitação na Coleta de Dados de Campo do IFN – BR. Inventário Florestal nacional – Paraná. Irati – PR, março de 2013. Relatório técnico.

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

LOMSTEIN, B. A.; LANGERHUUS, A. T.; HONDT, S. D.; JORGENSEN, B. B.; SPIVACK, A. J. Endopore abundance, microbial growth and necromass turnover in deep sub-seafloor sediment. **Nature**, v. 484, 2012.

LU, D. The Potential and Challenge of Remote Sensing-based Biomass Estimation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, p.1297-1328. 2006.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: BADEP: UFPR: IBPT, 1968.

MAAS, G. C. B. **Compartimentação do estoque de carbono em Floresta Ombrófila Mista**. 172 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2015.

MARENGO, J. A. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, v. 26, p. 212, 2006.

MARTINELLI LA, MOREIRA MZ, BROWN IF, VICTORIA RL. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais: O exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia., 1994. In: **Anais do Seminário de Emissão x Sequestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CVRD; 1994. p. 221.

MATOS, D. M. S.; SILVA, U. S. R.; PORTELA, R. C. Q.; BELINATO, T. A.; CORSI, G. C.; CINTRA, F. N.; JARDIM, M. M.; FIGUEIREDO, F. O. G. Estudo sobre a

expansão de *Pteridium aquilinum* var. *arachnoideum*, pteridophyta, em áreas da Mata Atlântica. Trabalho científico. 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/174/_arquivos/174_05122008112446.pdf> Acesso em: 07/02/2017.

MORISITA, M. Ia-Index, a measure of dispersion of individuals. **Researches on Population Ecology**, v. IV, p. 1-7, 1962.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas e o Brasil – Contextualização. **Parcerias Estratégicas**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), n. 27, 2008.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. São Paulo, SP: **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, 2007.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. Fundamentos científicos das mudanças climáticas. São José dos Campos, SP: **Rede Clima/INPE**, p. 44, 2012.

NUTTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; GRAMMEL, R.; FENNER, P. T. O mercado internacional de CO₂: O impacto das florestas naturais e das plantações. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Brasil, 2002. c. 4, p. 89-108.

PALACE, M.; KELLER, M.; ASNER, G. P.; SILVA, J. N. M.; PASSOS, C. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. Local: **Forest Ecology and Management**, v. 238, p. 309-318, 2007.

PALACE, M.; KELLER, M.; SILVA, H. Necromass production: Studies in undisturbed and logged Amazon Forests. **Ecological Applications**, v. 18, n. 4, 2008.

PALACE, M. W.; KELLER, M.; HURTT, G. C.; FROLKING, S. A review of above ground necromass in tropical forests. **Tropical Forests**, p. 215-252, 2012.

PAULETTO, D. **Estoque e produção de madeira morta em diferentes tipologias florestais na Amazônia Central**. 23 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Mudanças Climáticas) – Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR, 2014.

PASHER, J.; KING, D. J. Mapping dead wood distribution in a temperate hardwood forest using high resolution airborne imagery. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1536-1548, 2009.

PORTELA, R. C. Q.; MATOS, D. M. S.; SIQUEIRA, L. P.; BRAZ, M. I. G.; SILVA-LIMA, L.; MARRS, R. H. Variation in aboveground biomass and necromass of two invasive species in the Atlantic rainforest, Southeast Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 571-577, 2009.

QUEIROZ, W. T. de; PÉLLICO NETTO, S.; VALENTE, M. D. R.; PINHEIRO, J. G. Análise estrutural da unidade conglomerada Cruz de Malta na Floresta Nacional

do Tapajós, Estado do Pará, Brasil. Curitiba, PR: **Floresta**, v. 41, n. 1, p. 9-18, jan./mar. 2011.

RAHMAN, M. M.; FRANK, G.; RUPRECHT, H.; VACIK, H. Structure of coarse woody debris in Large-Leitn Natural Forest Reserve, Austria. **Journal of Forest Science**, v. 54, p. 161-169, 2008.

RATUCHNE, L. C. **Biomassa e carbono: Equações e dinâmica em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no Paraná**. 102 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2015.

REZENDE, D; MERLIN, S; SANTOS, M. T. Sequestro de carbono: Uma experiência concreta. Palmas: **Instituto Ecológico**, ed. 2, 110 p., 2001.

RIBEIRO, A.; PÉLLICO NETTO, S.; STALL, D.; LEÃO, R. A.; NASCIMENTO, F. A. F. Proposta metodológica para realização de um inventário florestal de necromassa: Um estudo de caso., Piracicaba, SP: **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 121-127, mar. 2012.

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.

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

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Brasil, 2002. c. 6, p. 119-140.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. **Fixação de Carbono: Atualidades, projetos e Pesquisas**. Curitiba, PR: UFPR, 205 p., 2004.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; PINTO, C.; MELO, L. A. N. Biomass and carbon in non-woody vegetation, dead wood and litter in Iguaçu National Park. Curitiba, PR: **Floresta**, v. 44, n. 2, p. 185-194, 2014.

SANQUETTA, C. R.; MAAS, G. C. B.; OLIVEIRA, I. M.; SANQUETTA, M. N. I.; CORTE, A. P. D. Dinâmica sazonal da produção de serapilheira em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana no estado do Paraná. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 13, n. 24, p. 414, 2016.

SANQUETTA, C. R., WATZLAWICK, L.F., CORTE, A. P. D. & FERNANDES, L. DE A. V. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. Curitiba: Multigraphics, ed. 2 v. 1, p. 307, 2009.

SILVA, V. D. **Respiração heterotrófica e estoques de necromassa em regiões de borda e interior em fragmentos de Mata Atlântica**. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ, 2013.

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

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. Curitiba, PR: **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008.

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

SMITH, J. E.; HEATH, L. S.; WOODBURY, P. B. How to estimate forest carbon for large areas from inventory data. **Journal of Forestry**, 2004; 102(1): 25-31.

SOUZA, R. N. de; APARÍCIO, P. da S.; APARÍCIO, W. C. da S.; SOTTA, E. D.; GUEDES, M. C.; OLIVEIRA, L. P. dos S. Distribuição diamétrica, espacial e volumétrica de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd (cumaru) na floresta estadual do Amapá - FLOTA -AP. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 5., 2011, Santa Maria. **Sustentabilidade florestal: [anais]**. Santa Maria: UFSM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2011. p. 714-720.

SWEENEY, O. F. M.; MARTIN, R. D.; IRWIN, S.; KELLY, T. C.; O'HALLORAN, J.; WILSON, M. W.; McEVOY, P. M. A lack of large-diameter logs and snags characterizes dead wood patterns in Irish forests. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 2056-2064, 2010.

TROPPEMAIR, H. Perfil fitoecológico do estado do Paraná. **Boletim de Geografia**, Universidade Estadual de Maringá - UEM, ano 08, n. 01, set. 1990.

UGAWA, S.; MIURA, S.; KANEKO, S. Differences in Necromass and carbon and Nitrogen contents between Node and Internode material of dead bamboo culms in two *Phyllostachys* species. **JARQ**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2014.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **National Reports**, 201. Disponível em: <http://unfccc.int/national_reports/items/1408.php>. Acesso em: 25/05/2016.

VAN WAGNER, C. E. The Line Intersect Method in Forest Fuel Sampling. **Forest Science**, v. 14, n. 1, p. 20-26, 1968.

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

WARREN, W. G.; OLSEN, P. F. **A Line Intersect Technique for Assessing Logging Waste.** *Forest Science - Society of American Foresters*, v. 10, n. 3, p. 267–276, 1964.

WHITTAKER, R.H. **Communities and Ecosystems.** Macmillan. New York, p. 385, 1975.

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

WOODALL C. R.; WALTERS, B. F.; OSWALT, S. N.; DOMKE, G. M.; TONEY, C.; GRAY, A. N. Biomass and carbon attributes of downed woody materials in forests of the United States. *Forest Ecology and Management*, v. 305, p. 48-59, 2013.

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

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – APLICAÇÃO DO TESTE DE SHAPIRO-WILK AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE DE ERRO PARA AVALIAR A NORMALIDADE DOS DADOS DE Vn, W E C

```
=====
ASSISTAT - NORMALIDADE
http://www.assistat.com
=====
```

NORMALIDADE (alfa = 5%)
VOLUME DE NECROMASSA

Teste (Estatística)	Valor	Vcrit	p-valor	Normal
Kolmogorov-Smirnov (D)	0.34454	0.08632	p < .01	Não
Cramér-von Mises (W2)	4.30189	0.12541	p < .01	Não
Anderson-Darling (A2)	21.20151	0.76001	p < .01	Não
Kuiper (V)	0.66797	0.14283	p < .01	Não
Watson (U2)	3.99790	0.11546	p < .01	Não
Lilliefors (D)	0.33511	0.08606	p < .01	Não
Shapiro-Wilk (W)	0.44344	-	0.00000	Não

```
=====
ASSISTAT - NORMALIDADE
http://www.assistat.com
=====
```

NORMALIDADE (alfa = 5%)
ESTOQUE DE NECROMASSA

Teste (Estatística)	Valor	Vcrit	p-valor	Normal
Kolmogorov-Smirnov (D)	0.33783	0.08632	p < .01	Não
Cramér-von Mises (W2)	4.01942	0.12541	p < .01	Não
Anderson-Darling (A2)	20.02087	0.76001	p < .01	Não
Kuiper (V)	0.66346	0.14283	p < .01	Não
Watson (U2)	3.72523	0.11546	p < .01	Não
Lilliefors (D)	0.32840	0.08606	p < .01	Não
Shapiro-Wilk (W)	0.46346	-	0.00000	Não

=====

ASSISTAT - NORMALIDADE
<http://www.assistat.com>

=====

|

NORMALIDADE (alfa = 5%)
 ESTOQUE DE CARBONO

Teste (Estatística)	Valor	Vcrit	p-valor	Normal
Kolmogorov-Smirnov (D)	0.33779	0.08632	p < .01	Não
Cramér-von Mises (W2)	4.01943	0.12541	p < .01	Não
Anderson-Darling (A2)	20.02167	0.76001	p < .01	Não
Kuiper (V)	0.66564	0.14283	p < .01	Não
Watson (U2)	3.72499	0.11546	p < .01	Não
Lilliefors (D)	0.32836	0.08606	p < .01	Não
Shapiro-Wilk (W)	0.46326	-	0.00000	Não

APÊNDICE 2 – TESTE NÃO-PARAMÉTRICO DE KRUSKAL-WALLIS PARA A VARIÁVEL Vn, PARA COMPARAÇÃO ENTRE AS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS

=====

ASSISTAT - TESTE DE KRUSKAL-WALLIS
<http://www.assistat.com>

=====

ESTOQUE DE NECROMASSA

Hipótese nula (H0):
 Os tratamentos provêm de uma mesma população

Ao nível de 5% de probabilidade
 H = 2.8370 H-crit = 5.9915
 p-valor > 0.05 H0 não rejeitada

Ao nível de 1% de probabilidade
 H = 2.8370 H-crit = 9.2104
 p-valor > 0.01 H0 não rejeitada

Tratamento	Repetições	SomaDosPostos	Média	alfa-5%
1	89	4739.5000	53.2528	a
2	10	648.5000	64.8500	a
3	7	283.0000	40.4286	a

Comparações múltiplas

Comparação	Diferença	DiferençaCrít	alfa	Diferentes
1 - 2	11.5972	23.6534	0.05	Não
1 - 3	12.8242	27.8395	0.05	Não
2 - 3	24.4214	34.9499	0.05	Não