

RESPIRAÇÃO HETEROTRÓFICA E ESTOQUES DE NECROMASSA EM  
REGIÕES DE BORDA E INTERIOR EM FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA

**VINÍCIUS DUNCAN SILVA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO –  
UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

DEZEMBRO - 2013

RESPIRAÇÃO HETEROTRÓFICA E ESTOQUES DE NECROMASSA EM  
REGIÕES DE BORDA E INTERIOR EM FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA

**VINÍCIUS DUNCAN SILVA**

Dissertação apresentada ao Centro de  
Biociências e Biotecnologia da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof<sup>a</sup> Dora Villela (LCA/UENF)

Co-orientador: Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa (INPA/RR)

Co-orientador: Dr. Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão (INPE)

Campos dos Goytacazes- RJ

Dezembro – 2013

RESPIRAÇÃO HETEROTRÓFICA E ESTOQUES DE NECROMASSA EM  
REGIÕES DE BORDA E INTERIOR EM FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA

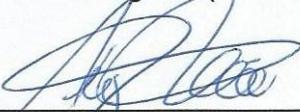
**VINÍCIUS DUNCAN SILVA**

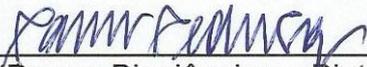
Dissertação apresentada ao Centro de  
Biotecnologia e Biociências da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

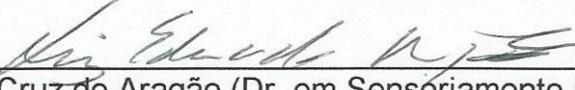
Aprovada em 5 de dezembro de 2013

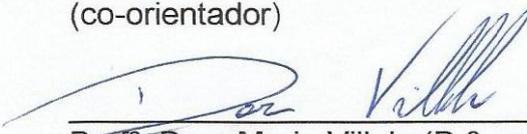
Comissão Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Tomas Ferreira Domingues (Dr. em Biologia) - USP

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Angela Pierre Vitória (Drª. em Biologia Vegetal) - UENF

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Paulo Pedrosa (Dr. em Biociências e Biotecnologia) - UENF

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão (Dr. em Sensoriamento Remoto) – INPE  
(co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Dora Maria Villela (Drª. em Ecologia) – UENF (orientadora)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas vitórias conquistadas e pelos erros que me permitiram crescer e aprender. Tudo o que tenho devo a Ele. “*Contudo, não importa o grau a que chegamos, o importante é prosseguir decididamente.*” Fil 3,16.

Agradeço principalmente aos meus pais, que estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida, me dando força e me ensinando. A minha irmã pela amizade, compreensão e apoio sempre que precisei.

A Emília pelo carinho, amizade e amor dedicado, não só neste momento, mas em tudo. Sem você não teria conseguido motivação para chegar até aqui. Obrigado por fazer parte da minha vida.

Aos meus amigos que guardo desde a graduação, em especial a Dani e Tati. Sua amizade é muito importante pra mim. Mesmo distante estarei sempre com vocês.

Aos colegas da pós e amigos do mestrado pela contribuição na minha caminhada acadêmica.

A todos os meus amigos em especial aos amigos da EESA, que estão sempre ao meu lado e são verdadeiros amigos de fé, com quem sempre posso e pude contar nas horas mais difíceis da minha vida.

A professora Dora por aceitar me orientar neste trabalho e pela compreensão nos momentos que estive em dificuldade. Sua confiança me deu muita força. Sou muito grato por tudo. Foi um tempo de grande crescimento para mim e de grandes experiências. Aos profs. Reinaldo e Aragão pela co-orientação no trabalho. Aos demais amigos e professores do LCA, em especial o prof. Paulo, membro do C.A. e da banca examinadora e que auxiliou neste período, a prof<sup>a</sup>.Cristal, revisora da dissertação e prof. Marcelo.

Ao amigo Vinícius Leite pela ajuda na confecção dos mapas.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Tomas Ferreira Domingues, Dr<sup>a</sup>. Angela Pierre Vitória e Dr. Paulo Pedrosa pela disponibilidade.

Aos técnicos do LCA, Gerson, Helmo e Wanderley, que tanto auxiliaram nas saídas de campo e animando as viagens e ao Sr. Walmir, sempre disposto a ajudar no campo.

Ao LCA/UENF pela infra-estrutura oferecida para o desenvolvimento do projeto. A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado. Ao INEA (EEEG) pelo acesso e apoio nas coletas realizadas na EEG.

## SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	V
LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	XI
RESUMO .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Estoques e Fluxos do C em florestas tropicais .....	1
1.2 Necromassa vegetal.....	4
1.3 Florestas estacionais e o bioma Mata Atlântica .....	5
1.4 Fragmentação e efeito de borda em florestas tropicais .....	7
2. HIPÓTESE.....	10
3. OBJETIVOS.....	10
4. ÁREA DE ESTUDO .....	11
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
5.1. DESENHO EXPERIMENTAL .....	18
5.2. COLETA DE DADOS .....	19
5.2.1. Estoque de necromassa fina .....	19
5.2.2. Estoque de necromassa grossa .....	20
5.2.2.1. Categorias das Peças (Grupos funcionais, Graus de Decomposição e Tamanho).....	21
5.2.2.2. Ajuste do Volume Sólido e Determinação da Densidade.....	21
5.2.2.3. Cálculo da Necromassa Grossa .....	23
5.2.3. Respiração Heterotrófica .....	24
5.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	26
6. RESULTADOS .....	27
6.1. Estoque da Necromassa Fina .....	27

<b>6.2. Estoque da Necromassa Grossa .....</b>	<b>30</b>
<b>6.3. Respiração Heterotrófica da Necromassa Fina .....</b>	<b>35</b>
<b>6.3.1 Relações Respiração heterotrófica X Umidade.....</b>	<b>35</b>
<b>6.3.2 Borda x Interior.....</b>	<b>37</b>
<b>6.4 Respiração Heterotrófica da Necromassa Grossa .....</b>	<b>38</b>
<b>6.4.1 Relações Respiração heterotrófica X Variáveis.....</b>	<b>38</b>
<b>6.4.2 Borda x Interior.....</b>	<b>43</b>
<b>7. DISCUSSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>7.1 Necromassa e Respiração Heterotrófica em Florestas Tropicais .....</b>	<b>46</b>
<b>7.2 Controles da Respiração Heterotrófica .....</b>	<b>53</b>
<b>7.3 Efeito de Borda.....</b>	<b>55</b>
<b>8. CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>10. APÊNDICES .....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ciclo do C em ecossistemas florestais. Adaptado de: Malhi (2012).....1
- Figura 2.** Fontes de C em ecossistemas florestais através da respiração autotrófica e respiração heterotrófica (destaque em vermelho). A largura das setas é proporcional ao fluxo de C de cada compartimento do ecossistema. Adaptado de: Chambers *et al.*, 2004.....3
- Figura 3.** Localização dos fragmentos de florestas estacionais selecionados para o estudo, município de São Francisco do Itabapoana. 1-Fazenda Santo Antônio, 2-F. Imburi, 3- Mata do Carvão, 4-F. Palmeiras, 5-F. Santana. Fonte: Laboratório de Estudos do Espaço Antrópico (LEEA/UENF).....12
- Figura 4.** Aspecto geral dos fragmentos de florestas estacionais estudados, localizados no município de São Francisco do Itabapoana – RJ. (A) Fragmento localizado na Fazenda Imburi, (B) Fragmento Fazenda Santana, (C) Fragmento Fazenda Palmeiras, (D) Fragmento Fazenda Santo Antônio, (E e F) Mata do Carvão, EEG. Fonte: Abreu, 2013. ....13
- Figura 5.** Pluviosidade média e temperatura média mensal na região Norte Fluminense: (a) média de um período de 30 anos (Sentelhas *et al.*, 2003); (b) média mensal durante o período de estudo. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (site: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>).....13
- Figura 6.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4) para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual, Mata do Carvão, EEE de Guaxindiba, São Francisco de Itabapoana, RJ.....14
- Figura 7.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4), utilizados para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual da Fazenda Imburi, São Francisco de Itabapoana, RJ. ....15
- Figura 8.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4) para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual Fazenda Santana, São Francisco de Itabapoana, RJ.....16
- Figura 9.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4) para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual Fazenda Palmeiras, São Francisco de Itabapoana, RJ.....17
- Figura 10.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4) para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual Fazenda Santo Antônio, São Francisco de Itabapoana, RJ.....18

<b>Figura 11.</b> Coletor M-H para determinação direta da espessura da camada de necromassa fina. Fonte: Marimon-Junior e Hay (2008).....	19
<b>Figura 12.</b> Exemplos de fotografias das peças de necromassa grossa para análise da perda de material (área real menos área decomposta) e ajuste do volume obtido pelo método LIS. ....	23
<b>Figura 13.</b> Estoque total e por frações (a) e espessura (b) da camada de necromassa fina em florestas estacionais semidecíduais do Norte Fluminense, RJ.....	28
<b>Figura 14.</b> Participação das frações do estoque de necromassa fina no estoque total em áreas de borda (a) e interior (b) em fragmentos de florestas estacionais semidecíduais do Norte Fluminense, RJ.....	29
<b>Figura 15.</b> Estoque (t/ha) de necromassa fina total e por frações em fragmentos de florestas estacionais semidecíduais do Norte Fluminense, RJ. (a) total, (b) folhas, (c) galhos finos e (d) resto. Letras diferentes indicam diferença significativa entre fragmentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para a fração da necromassa fina correspondente.....	30
<b>Figura 16.</b> Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa total em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ. ....	33
<b>Figura 17.</b> Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa em áreas de borda e interior, por grupos funcionais, de fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ.....	33
<b>Figura 18.</b> Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa em áreas de borda e interior, por graus de decomposição (1, entre 0 e 10%; 2, entre 10 e 30%; 3, > 30%), de fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ. ....	34
<b>Figura 19.</b> Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa em áreas de borda e interior, por classe de tamanho (M= entre 2,0 e 9,9 cm; G= maior que 10cm), de fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ.....	34
<b>Figura 20.</b> Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa por fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ. Letras diferentes indicam diferença significativa entre fragmentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).....	35
<b>Figura 21.</b> Relação da respiração heterotrófica (R) da necromassa fina com a umidade desta em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressão linear entre respiração e umidade da necromassa fina ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,30$ ). ....	36

<b>Figura 22.</b> Relações da respiração heterotrófica (R) da necromassa fina com a umidade desta em áreas de borda (a) e interior (b) em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressões lineares entre respiração da necromassa e: (a) Umidade da necromassa fina na borda ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,32$ ); (b) Umidade da necromassa fina no interior ( $p = 0,07$ , $R^2 = 0,07$ ).....	37
<b>Figura 23.</b> Respiração heterotrófica (a) e umidade (b) da camada de necromassa fina sobre o solo em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student). .....	38
<b>Figura 24.</b> Relações da respiração heterotrófica e demais variáveis da necromassa em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressões lineares entre fluxo de carbono da necromassa e: (a) Umidade da necromassa ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,37$ ); (b) Densidade da necromassa ( $p < 0,001$ , $R^2 = 0,068$ ); (c) Volume do material ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,085$ ); (d) Circunferência ( $p < 0,001$ , $R^2 = 0,041$ ). .....	39
<b>Figura 25.</b> Relação da umidade (%) com a densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) da necromassa grossa em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,13$ ).....	40
<b>Figura 26.</b> Relações da respiração heterotrófica e demais variáveis da necromassa em áreas de borda de cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressões lineares entre fluxo de carbono da necromassa e: (a) Umidade da necromassa ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,21$ ); (b) Densidade da necromassa ( $p = 0,002$ , $R^2 = 0,04$ ); (c) Volume do material ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,19$ ); (d) Circunferência ( $p < 0,001$ , $R^2 = 0,09$ ).....	41
<b>Figura 27.</b> Relações da respiração heterotrófica e demais variáveis da necromassa em áreas de interior de cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressões lineares entre fluxo de carbono da necromassa e: (a) Umidade da necromassa ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,38$ ); (b) Densidade da necromassa ( $p < 0,001$ , $R^2 = 0,09$ ); (c) Volume do material ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,07$ ); (d) Circunferência ( $p = 0,002$ , $R^2 = 0,04$ ).....	42
<b>Figura 28.</b> Relação da umidade (%) com a densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) da necromassa em áreas de borda (a) e interior (b) de cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Borda ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,09$ ); Interior ( $p < 0,001$ ; $R^2 = 0,22$ ) .....	43
<b>Figura 29.</b> Respiração heterotrófica (a), umidade (b) e densidade (c) da necromassa grossa em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).....	44

**Figura 30.** Respiração heterotrófica (a), umidade (b) e densidade (c) da necromassa grossa, por grupos funcionais (árvores e lianas), em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).....44

**Figura 31.** Respiração heterotrófica (a), umidade (b) e densidade (c) da necromassa grossa, por graus de decomposição (1, 2 e 3), em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).....45

**Figura 32.** Respiração heterotrófica (a), umidade (b) e densidade (c), da necromassa grossa, por classes de tamanho (M e G), em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).....45

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores médios e desvios-padrão do estoque total e por frações da necromassa fina por fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no município de São Francisco do Itabapoana, RJ. ....28
- Tabela 2.** Numero de peças encontradas por Fragmento nos transectos de Borda e Interior, por Grupos Funcionais, Classe de Diâmetro (M, 2-9,9 cm; G, >10cm) e Graus de Decomposição (1=0 a 10%, 2=10 a 30% e 3= >30%) em fragmentos de florestas estacionais nos norte fluminense.....31
- Tabela 3.** Valores médios e desvios-padrão de volume (m<sup>3</sup>/ha) e estoque (t/ha) de necromassa grossa total em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.....32
- Tabela 4.** Comparação dos valores de estoque de necromassa fina (t/ha) em diferentes tipos florestais. (\*) Valores apresentados por Vieira et al., 2011, referentes ao estoque de Carbono na necromassa fina.....46
- Tabela 5.** Comparação dos valores de volume (m<sup>3</sup>/ha) e estoque de necromassa grossa (t/ha) em diferentes tipos florestais. (\*) Valores apresentados por Vieira et al., (2011), referentes ao estoque de Carbono na necromassa grossa. (\*\*) Valores apresentados por Rice *et al.*, (2011), referentes ao estoque de Carbono na necromassa grossa caída sobre o solo e árvores mortas em pé.....49

## RESUMO

### RESPIRAÇÃO HETEROTRÓFICA E ESTOQUES DE NECROMASSA EM REGIÕES DE BORDA E INTERIOR EM FRAGMENTOS DE MATA ATLÂNTICA

Florestas maduras, com destaque para as florestas tropicais, atuam como verdadeiros sumidouros de carbono, retirando CO<sub>2</sub> da atmosfera e mantendo o carbono estocado na forma orgânica como biomassa viva, sendo depois liberado lentamente pelo processo de decomposição da matéria orgânica morta. O efeito de borda gerado pela fragmentação de florestas pode levar a mudanças no microclima das bordas, aumentando as taxas de mortalidade de espécies arbóreas. A necromassa vegetal compõe-se de toda a massa morta de origem vegetal presente em ecossistemas florestais. O objetivo principal deste estudo foi o de quantificar os estoques de necromassa fina e grossa, e estimar as taxas de respiração heterotrófica destas, comparando a borda e o interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual de Mata Atlântica do norte fluminense. Foram selecionados cinco fragmentos de Mata Atlântica de tabuleiros, de diferentes tamanhos, no município de São Francisco do Itabapoana: a EEEG, Mata do Carvão (1200 ha); Fazenda Imburi (13 ha); Fazenda Santana (35 ha); Fazenda Palmeiras (49 ha); e Fazenda Santo Antônio (55 ha). As coletas foram realizadas no período de outubro de 2012 a março de 2013 em dois transectos na borda e dois no interior de cada fragmento. A necromassa grossa foi amostrada pelo método LIS (Line Intersect Sample) e a necromassa fina por quadrats (50 cm x 50 cm) e triada em folhas, galhos e resto. A respiração heterotrófica foi determinada com um analisador de CO<sub>2</sub> por infravermelho em câmara fechada. Não houve diferenças entre a borda e o interior dos fragmentos para os estoques de necromassa grossa e fina. A EEEG apresentou o menor estoque de necromassa fina da fração folhas e a Fazenda Palmeiras o maior estoque de necromassa grossa. A respiração heterotrófica da necromassa apresentou relação fortemente positiva com a umidade da necromassa, e diferiu significativamente entre as áreas de borda e interior, sendo maior no interior dos fragmentos. Os valores de estoque de necromassa fina e grossa encontrados estão dentro do contexto para as áreas de Mata Atlântica. A hipótese de que o estoque de necromassa seria maior na borda dos fragmentos foi rejeitada. Já a hipótese de que a respiração heterotrófica da necromassa, em geral, é menor na borda dos fragmentos foi corroborada. A umidade da necromassa foi o fator que melhor explicou as variações na taxa de respiração heterotrófica. Portanto, o efeito de borda alterou o funcionamento destas florestas estacionais quanto à liberação de CO<sub>2</sub> pela respiração heterotrófica da necromassa.

Palavras chave: Fragmentação; Floresta Estacional Semidecidual; Serapilheira fina; Serapilheira Grossa; Fluxo de CO<sub>2</sub>

## ABSTRACT

### HETEROTROPHIC RESPIRATION AND NECROMASS STOCKS IN REGIONS OF EDGE AND INTERIOR IN ATLANTIC FOREST FRAGMENTS

Mature forests, especially tropical forests, act as carbon sinks, removing CO<sub>2</sub> from the atmosphere and keeping the carbon stored in organic form as living biomass. Afterwards it is slowly released by the process of decomposition of dead organic matter. The edge effect generated by forest fragmentation may lead to changes in the microclimate of the edges, increasing mortality rates of tree species. Plant necromass consists of all dead plant mass present in the forest ecosystems. The main objective of this study was to quantify the stocks of fine and coarse necromass, and estimate their rates of heterotrophic respiration, comparing the edge and the interior of fragments of lowland Seasonal Dry Atlantic forest at northern Rio de Janeiro State. Five forest fragments of different sizes were selected at São Francisco do Itabapoana: EEG, Mata do Carvão (1200 ha); Fazenda Imburi (13 ha); Fazenda Santana (35 ha); Fazenda Palmeiras (49 ha); and Fazenda Santo Antônio (55 ha). Sampling was carried out from October 2012 to March 2013, in two transects at the edge and at the interior in each fragment. The coarse necromass was sampled by LIS (Line Intersect Sample) method and the fine necromass by quadrats (50 cm x 50 cm) and sorted on leaves, twigs and rest. The heterotrophic respiration was determined with an infrared CO<sub>2</sub> analyzer in a closed chamber. There was no differences on the stocks of coarse and fine necromass between the edge and interior of the fragments. The EEG had the lowest stock of leaves of fine necromassa and Fazenda Palmeiras the largest stock of coarse necromass. The heterotrophic respiration of the necromass was positively related with its moisture, and differed significantly between the areas of edge and interior, being higher in the interior. The values of fine and coarse necromass stocks are found within the context for the Atlantic Forest. The hypothesis that the stock of necromass would be greater at the edge of the fragments was rejected. The hypothesis that necromass heterotrophic respiration is generally lower in the edge of the fragments was confirmed. The moisture of the necromass was the factor that best explained the variations in the rate of heterotrophic respiration. Therefore, the edge effect changed the functioning of those seasonal dry forest in relation to the CO<sub>2</sub> release through the heterotrophic respiration of the necromass.

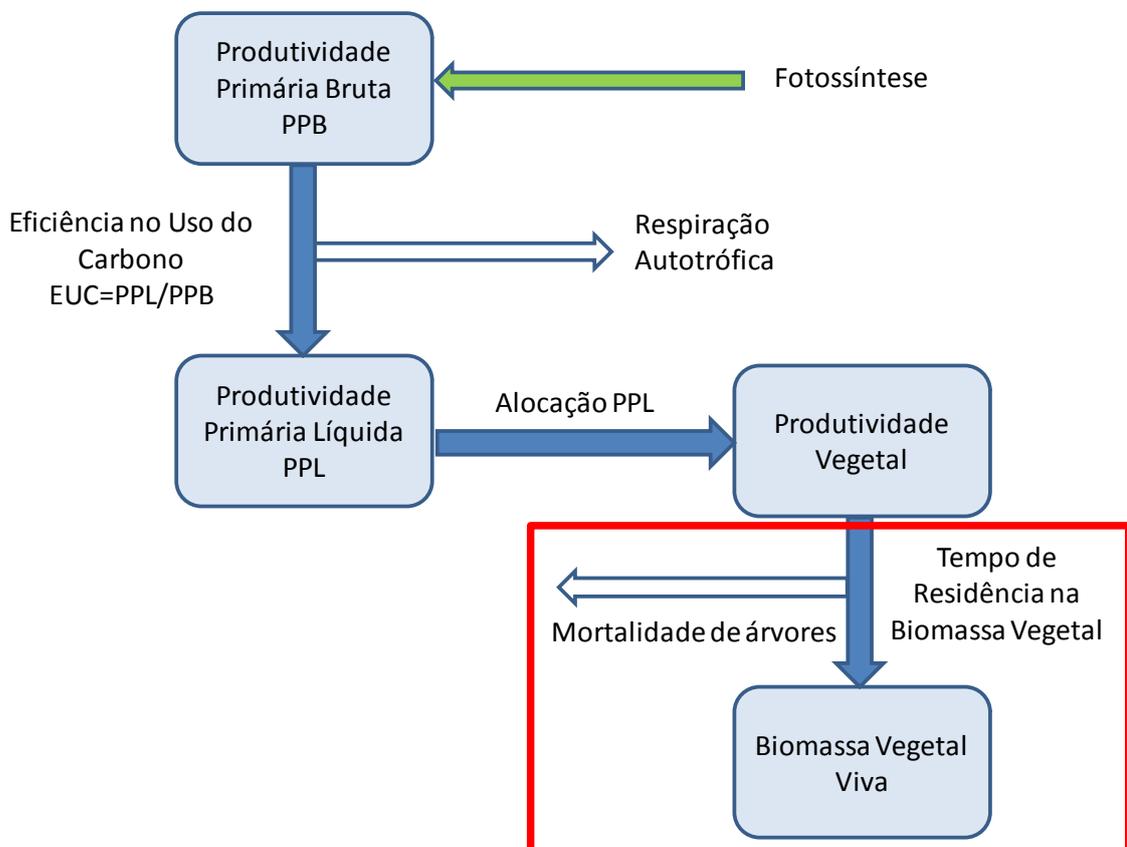
Keywords : Fragmentation; Seasonal Dry Forest; Litter; Woody Debris; Efflux CO<sub>2</sub>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Estoques e Fluxos de C em florestas tropicais

Florestas maduras são verdadeiros reservatórios de carbono, que permanece estocado na biomassa viva e morta, sendo lentamente liberado para a atmosfera pelo processo de decomposição da matéria orgânica (Malhi & Grace, 2000; Luysaert *et al.*, 2008). Neste sentido, as florestas tropicais apresentam grande importância, não apenas em função de sua grande biodiversidade e do alto grau de endemismos, mas também pelo papel que exercem no ciclo de carbono, modulando as trocas entre a atmosfera e os sistemas terrestres (Malhi & Grace, 2000; Baker *et al.*, 2007).

A figura 1 apresenta o ciclo do carbono em ecossistemas florestais. Os principais processos são representados pelas setas e destaca-se neste ciclo o processo de produção da necromassa e liberação do carbono para o ambiente.



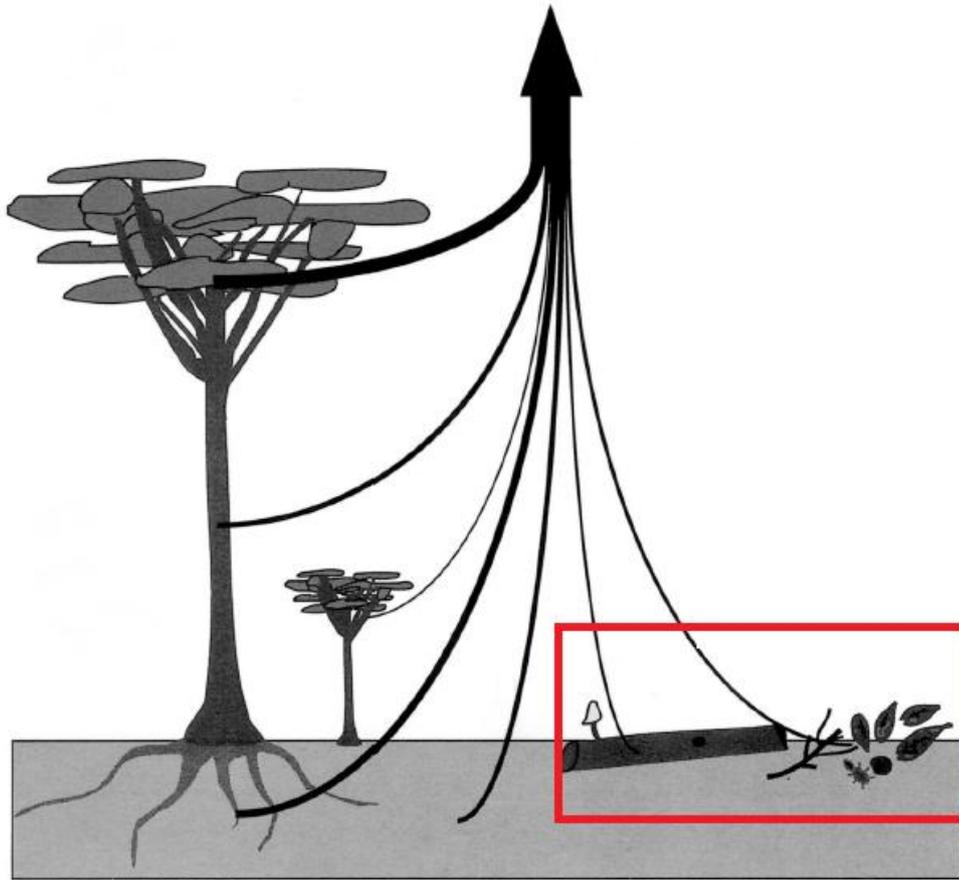
**Figura 1.** Ciclo do C em ecossistemas florestais. Adaptado de: Malhi (2012)

Acredita-se que cerca de 40% da produção primária líquida em florestas seja direcionada para o incremento de biomassa na forma de madeira (caules, ramos e raízes grossas), permanecendo estocado enquanto os indivíduos arbóreos estiverem vivos (Malhi, 2012).

O papel das florestas tropicais como fonte ou sumidouro de CO<sub>2</sub> tem sido amplamente debatido (Chambers et al 2001a; Saleska et al., 2003; Luysaert et al., 2008; Malhi 2010). Saleska et al. (2003) indicaram áreas na Amazônia que se comportam como grandes sumidouros e áreas que se comportam como grandes emissores de CO<sub>2</sub> ao longo do ano. As florestas tropicais são muito importantes neste processo do ciclo do carbono, contribuindo com aproximadamente 36% da troca líquida de carbono entre a atmosfera e a vegetação (Melillo et al., 1993), além de possuir uma quantidade significativa de carbono e nitrogênio estocado na biomassa e solo (Vieira et al., 2011; Villela et al., 2012).

Estima-se que as florestas tropicais contenham cerca de 40% do carbono estocado na biomassa terrestre, os quais estão divididos entre a biomassa viva e a biomassa morta (necromassa) (Brown, 1997). Esta última representa um componente fundamental na manutenção da produtividade dos ecossistemas (Couteux e Berg, 1995; Barbosa et al., 2009).

Alguns estudos sugerem que algumas florestas tropicais primárias aumentam seu estoque de carbono, incorporando-o em sua biomassa (Lugo & Browns, 1992; Phillips et al., 1998; Malhi & Grace, 2000), ficando este retido na biomassa viva até que esta morra e seja decomposta, liberando lentamente este carbono, completando o ciclo (Chambers et al., 2000). A decomposição envolve o processo conhecido como respiração heterotrófica, que é também fundamental para a respiração total do ecossistema, juntamente com a respiração autotrófica, liberando uma quantidade significativa de C para a atmosfera, na forma do CO<sub>2</sub>. (Chambers et al., 2004) (figura 2).



**Figura 2.** Fontes de C em ecossistemas florestais através da respiração autotrófica e respiração heterotrófica (da matéria orgânica morta acima do solo em destaque). A largura das setas é proporcional ao fluxo de C de cada compartimento do ecossistema. Adaptado de: Chambers *et al.*, (2004).

Entretanto, as frequentes mudanças de uso do solo, queimadas, substituição das florestas para a agricultura, agropecuária e urbanização, entre outros impactos antrópicos, podem acarretar em uma grande quantidade de carbono a ser liberado em curto prazo para a atmosfera (Palace *et al.*, 2007). Estudos sobre o funcionamento destes ecossistemas são particularmente relevantes para compreendermos a dinâmica do CO<sub>2</sub> dentro do ciclo global do carbono, envolvendo a capacidade de estoque e o potencial desses ecossistemas de atuarem como sumidouros ou fontes de C (Chambers *et al.*, 2000; Veiga, 2008; Villela *et al.*, 2012).

## 1.2 Necromassa Vegetal

A necromassa vegetal compreende toda a biomassa morta de origem vegetal, acima do solo, presente em ecossistemas naturais ou manejados, sendo expressa em unidade de peso seco por unidade de área (Proctor, 1983; Harmon *et al.*, 1986; Brown, 1997). Este compartimento florestal pode ser dividido em duas categorias: (1) árvores mortas em pé e; (2) material vegetal morto estabelecido sobre o solo (comumente conhecida como serapilheira) (Harmon *et al.*, 1986). A necromassa pode ser dividida em fina (folhas, gravetos e galhos finos com diâmetro inferior a 2 cm) e grossa (galhos e troncos com diâmetro maior ou igual a 2 cm) (Proctor, 1983).

Estimativas apontam que a necromassa total pode representar de 20 a 40% do carbono total estocado em florestas tropicais e contribuir com 12% da respiração total acima do solo nestes ambientes, tendo grande influência na ciclagem deste elemento no ecossistema (Harmon & Sexton, 1996; Brown, 1997; Palace *et al.*, 2007). A necromassa é também importante no ciclo de nutrientes e é o habitat de muitos organismos do solo (Harmon *et al.*, 1986; Wallace *et al.*, 1999; MacNally *et al.*, 2001; Sayer *et al.*, 2006).

A necromassa grossa contribui de forma significativa para o estoque de biomassa e carbono em ecossistemas florestais (Harmon & Sexton, 1996) e muito pouco se sabe sobre este compartimento (Palace *et al.*, 2012). Clark *et al.* (2002), estudando uma floresta tropical da Costa Rica demonstraram que o estoque de necromassa grossa correspondia a cerca de 30% da biomassa acima do solo. Palace *et al.* (2007) apontaram que algumas áreas de florestas da Amazônia poderiam conter de 19% a 26% do estoque de carbono acima do solo na necromassa grossa, contribuindo com cerca de 15% da respiração total no ecossistema. Além de sua importância para a ciclagem de C e nutrientes (Chambers *et al.*, 2000; Palace *et al.*, 2012), a necromassa grossa também atua servindo de habitat para espécies da flora e fauna (MacNally *et al.*, 2001) e pode influenciar o regime de incêndio natural de áreas florestais (Palace *et al.*, 2007). O conhecimento dos estoques, da deposição periódica e da velocidade de decomposição dos detritos vegetais lenhosos é importante para auxiliar na compreensão do funcionamento e consequente fragilidade deste compartimento florestal (Paulleto, 2006).

A necromassa fina é um compartimento melhor estudado, devido à ser um bom indicador da produtividade de ecossistemas florestais (Proctor, 1983; Vitousek, 1984; Sayer, 2006; Saiter *et al.*, 2008; Wood *et al.*, 2009), ter uma taxa de decomposição mais rápida do que a necromassa grossa (Swift & Anderson, 1989; Baker *et al.*, 2007) e ser considerada por longo tempo o maior processo de transferência de nutrientes da vegetação para o solo (Vitousek & Sanford, 1986; Saiter *et al.*, 2008). Os processos de decomposição e mineralização de nutrientes da necromassa fina podem até mesmo influenciar as propriedades físicas e químicas do solo superficial (Singh & Gupta, 1977, Aerts, 1997).

No Brasil, a necromassa grossa ainda é muito pouco estudada, sendo que a maioria dos estudos realizados estão situados na região Amazônica (Chambers *et al.*, 2001b; Rice *et al.*, 2004; Toledo, 2002; Keller *et al.*, 2004, Paulleto, 2006; Baker *et al.*, 2007; Palace *et al.*, 2007; Palace *et al.*, 2008; Chao *et al.*, 2009), com alguns raros na região sudeste, em áreas de floresta ombrófila (Veiga, 2008; Luccas, 2011; Vieira *et al.*, 2011). Tal fato gera uma lacuna nas estimativas de estoque de C neste ambiente, e não evidencia claramente o papel da necromassa no ciclo do carbono de sistemas florestais do sudeste brasileiro. Além disto, a falta de um maior número de valores regionais, que abranjam diferentes fitofisionomias (naturais e antropizadas) distorce as estimativas nacionais de emissão de gases do efeito estufa e estoque de carbono pelos diferentes ecossistemas brasileiros (Villela *et al.*, 2012). Estas estimativas são à base dos relatórios que o Brasil apresenta internacionalmente como parte das obrigações acordadas na Convenção do Clima (IPCC, 2006).

### **1.3 Florestas Estacionais e o Bioma Mata Atlântica**

O bioma Mata Atlântica estende-se desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul (Oliveira-Filho e Fontes, 2000). Entretanto, grande parte da sua cobertura original foi perdida por consequência de alterações antrópicas na paisagem, restando pouco mais do que 12% em fragmentos florestais (SOS Mata Atlântica, 2013). Dentro deste bioma existe um tipo fisionômico conhecido como Floresta Estacional Semidecidual, com uma área de abrangência desde Pernambuco, passando por algumas regiões

do centro do país até o estado do Rio de Janeiro com o sul do Espírito Santo (Rizzini, 1979; Oliveira-Filho e Fontes, 2000). Esta formação florestal é caracterizada pela estacionalidade foliar da maioria dos indivíduos florestais arbóreos dominantes, com duas estações climáticas bem definidas, uma seca e uma chuvosa, como uma adaptação à seca e ao frio. Nessas formações florestais encontram-se 20 a 50% de espécies caducifólias, que perdem suas folhas durante a estação seca e/ou fria (RadamBrasil, 1983; Oliveira-Filho e Fontes, 2000).

A Floresta Estacional Semidecidual abrange um tipo florestal conhecido como Mata de Tabuleiros (Rizzini, 1979). Esta denominação de Tabuleiros deve-se ao fato de que estas áreas apresentam uma topografia visualmente plana, altitude compreendida entre 20-200 metros, sob sedimentos terciários com solos pobres, arenosos e argilo-arenosos (Rizzini, 1979, Oliveira-Filho e Carvalho, 1993). As florestas de Tabuleiro distinguem-se da floresta Atlântica na sua forma mais típica, principalmente por influência do gradiente climático e de fatores geológicos (Silva & Nascimento, 2001). Além disso, caracterizam-se pela baixa ocorrência de vegetação rasteira, presença de espécies epífitas e esclerófilas (espessamento foliar) (Silva & Nascimento, 2001).

A Mata de Tabuleiros ocorre ao longo da costa leste do Brasil, dentro do domínio Atlântico, principalmente entre os estados da Bahia e Rio de Janeiro (Rizzini, 1979). Estas sofreram intensa fragmentação, com o processo de desmatamento na costa brasileira durante a colonização e, mais recentemente com a agricultura e com a industrialização (Rizzini, 1979). Segundo Silva & Nascimento (2001), o fragmento mais significativo deste tipo florestal no estado do Rio de Janeiro, é a Mata do Carvão, situada na Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba (EEEG) no município de São Francisco do Itabapoana.

Trabalhos têm sido realizados na Mata Atlântica com o intuito de gerar dados sobre sua biomassa, produtividade e estoque de nutrientes. Vieira *et al.* (2011) encontraram valores de estoque de carbono na biomassa acima do solo para áreas de Mata Atlântica na Serra do Mar, SP, próximos ao encontrado em áreas de floresta amazônica. Lima *et al.* (2008) estudando áreas de Mata Atlântica de baixada no RJ encontraram um valor médio de 166 t/ha para a biomassa arbórea acima do

solo. Burger (2005) encontrou valores de biomassa estimada em 245 t/ha, para floresta ombrófila densa na região do Parque Estadual da Serra do Mar, São Paulo.

No que tange às florestas estacionais, poucos trabalhos foram executados, em especial no que se refere aos estudos de biomassa/necromassa. Entre estes, destaca-se o estudo de longa duração de Rolim *et al.* (2005), analisando dados coletados por um período de 22 anos em um importante remanescente de floresta estacional semidecidual, Reserva Vale do Rio Doce, no estado do Espírito Santo. Os autores estimaram uma média de 335 t/ha de biomassa acima do solo para o fragmento, comparável a algumas regiões da floresta amazônica.

Villela *et al.* (2006) estudando a estrutura e a ciclagem de nutrientes na Mata do Carvão, em áreas sob pressão de corte seletivo de madeira mostraram que em áreas menos impactadas, a estrutura arbórea é mais desenvolvida e a qualidade nutricional da serapilheira produzida e no estoque é maior que em áreas mais impactadas. Nascimento e Archanjo (2009) demonstraram que a diversidade de espécies arbóreas nesta mesma área diminuiu em um período de 12 anos (1996 a 2008), embora houvesse o registro do aumento na área basal e na dominância de algumas espécies florestais.

#### **1.4. Fragmentação e Efeito de Borda em Florestas Tropicais**

Dentre as intervenções antrópicas no meio natural, a fragmentação de ecossistemas talvez seja a que mais altere o ambiente, provocando vários distúrbios na comunidade (Cerqueira *et al.*, 2003). No caso de fragmentos florestais remanescentes do desmatamento, o processo contínuo de fragmentação do habitat resulta na criação de variações microclimáticas no entorno destes, com condições ambientais diferentes, alterando as características do solo, a dinâmica dos nutrientes, a estrutura da floresta e a composição de espécies (Kapos, 1989; Didhan & Lawton, 1999; Cerqueira *et al.*, 2003; Scariot *et al.*, 2003; Laurance & Vasconcelos, 2009).

Um dos principais efeitos causados pela fragmentação de florestas tropicais está associado com o aumento da exposição das bordas à matriz (Laurance *et al.*, 2002). Esta consequência é denominada efeito de borda, sendo definida como a

área de interação entre dois ecossistemas adjacentes, separados por uma transição abrupta (Murcia, 1995; Rodrigues & Nascimento, 2006) e diz respeito à influência que o meio externo à área florestal tem em sua parte mais marginal, causando alterações físicas e estruturais na comunidade residente na borda (Tabanez *et al.*, 1997).

O efeito de borda é mais evidenciado, principalmente, pelo aumento da penetração de luz e vento na floresta (Bierregaard *et al.*, 1992), resultando na elevação da temperatura do ar e aumento do déficit de pressão de vapor no interior da mata (Kapos *et al.*, 1997). Dentre os fatores associados ao efeito de borda recorrente da fragmentação, o mais destacado é a luminosidade (Gascon *et al.*, 2001).

Uma das principais conseqüências sobre a comunidade arbórea é o aumento na taxa de mortalidade de árvores (Laurance *et al.*, 2002; Laurance & Vasconcelos, 2009). Em florestas tropicais preservadas e pouco fragmentadas, a penetração de luz ocorre verticalmente pelo dossel da floresta, já em uma borda isolada, a luz pode penetrar lateralmente, causando sérias alterações microclimáticas (Gascon *et al.*, 2001). Algumas espécies arbóreas que não estão adaptadas a estas mudanças repentinas e abruptas relativas às variáveis como a temperatura do ar, umidade do ar e do solo, conseqüentemente perdem suas folhas e morrem (Kapos *et al.*, 1997), ocasionando mudanças na composição de espécies da comunidade (Laurance *et al.*, 2006; Laurance & Vasconcelos 2009). Outro fator importante é a maior incidência de ventos na área desmatada em torno dos fragmentos causando a derrubada de muitas árvores que estão na borda da floresta (Ferreira e Laurance, 1997; Laurance & Vasconcelos, 2009).

Existe também uma grande variação no que diz respeito à distância na qual estes efeitos penetram o interior dos fragmentos (Laurance & Vasconcelos, 2009). Em áreas da Amazônia central, a distância de penetração dos efeitos de borda pode variar entre 10 e 400m para diferentes variáveis (Laurance *et al.*, 2002).

A importância relativa dos efeitos de borda também vão depender da forma e do tamanho do fragmento (Turner & Corlett, 1996). Fragmentos menores estão mais sujeitos a mudanças ecológicas em seu interior, como mudanças no micro-clima, acompanhadas de alterações no padrão da vegetação. Nessas áreas, a proporção

de árvores mortas e danificadas é maior, pois a proporção de aberturas no dossel e ocorrência de clareiras aumenta, havendo também uma maior proliferação de lianas (Laurance, 1991). Alguns estudos têm demonstrado que o efeito de borda também influencia a ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Vasconcelos & Luizão (2004) apontam as alterações provocadas no padrão de produção de necromassa fina (serapilheira) em áreas da Amazônia, com maior produção na borda da floresta que em seu interior, devido principalmente às mudanças na composição de espécies no ambiente de borda. Mas este padrão pode ser alterado de acordo com o tipo florestal e/ou efeitos da fragmentação, pois em uma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, a menor produção de serapilheira foi encontrada na borda de um fragmento de floresta ombrófila em comparação com o interior deste (Nascimento, 2005). As consequências da fragmentação também compreendem a alteração da qualidade nutricional da serapilheira produzida (Nascimento, 2005) e alteração na velocidade de decomposição desta, levando a um retardo na liberação de nutrientes pela serapilheira em áreas de borda (Gama, 2005).

Em estudo na Mata Atlântica de Baixada do estado do Rio de Janeiro, Procópio de Oliveira *et al.* (2008) verificaram que o processo de fragmentação alterou a qualidade e a estrutura da vegetação em remanescentes florestais menos preservados, apresentando baixos valores de área basal, alto número de árvores pequenas, elevado número de árvores mortas e baixos valores de estoque de serapilheira em comparação com fragmentos maduros e bem conservados. Gama (2005) demonstrou que o efeito de borda influencia o estoque de folhas da camada de necromassa fina sobre o solo. Nascimento (2005) destacou o efeito negativo da borda, provocado pela fragmentação, sobre a produção e aporte de nutrientes da serapilheira e Silva (2009) destacou que a diminuição no tamanho do fragmento alterou negativamente a entrada de nutrientes através da serapilheira produzida, diminuindo o aporte de Ca, K, C e N e retardando a taxa de decomposição e liberação de nutrientes em fragmentos de Mata Atlântica.

## 2. HIPÓTESE

Baseado em estudos que comprovaram que a fragmentação florestal provoca aumento da mortalidade de árvores e menor taxa de decomposição da necromassa na borda de ambientes florestais, este trabalho testou a hipótese de que o estoque de necromassa é maior e a respiração heterotrófica é menor na borda do que no interior de fragmentos de floresta estacional do norte fluminense.

## 3. OBJETIVOS

Este estudo tem por objetivo estimar o estoque da necromassa (serapilheira), fina e grossa, e a respiração heterotrófica derivada desta na borda e no interior de fragmentos de Mata Atlântica estacional no norte fluminense.

### **Objetivos específicos:**

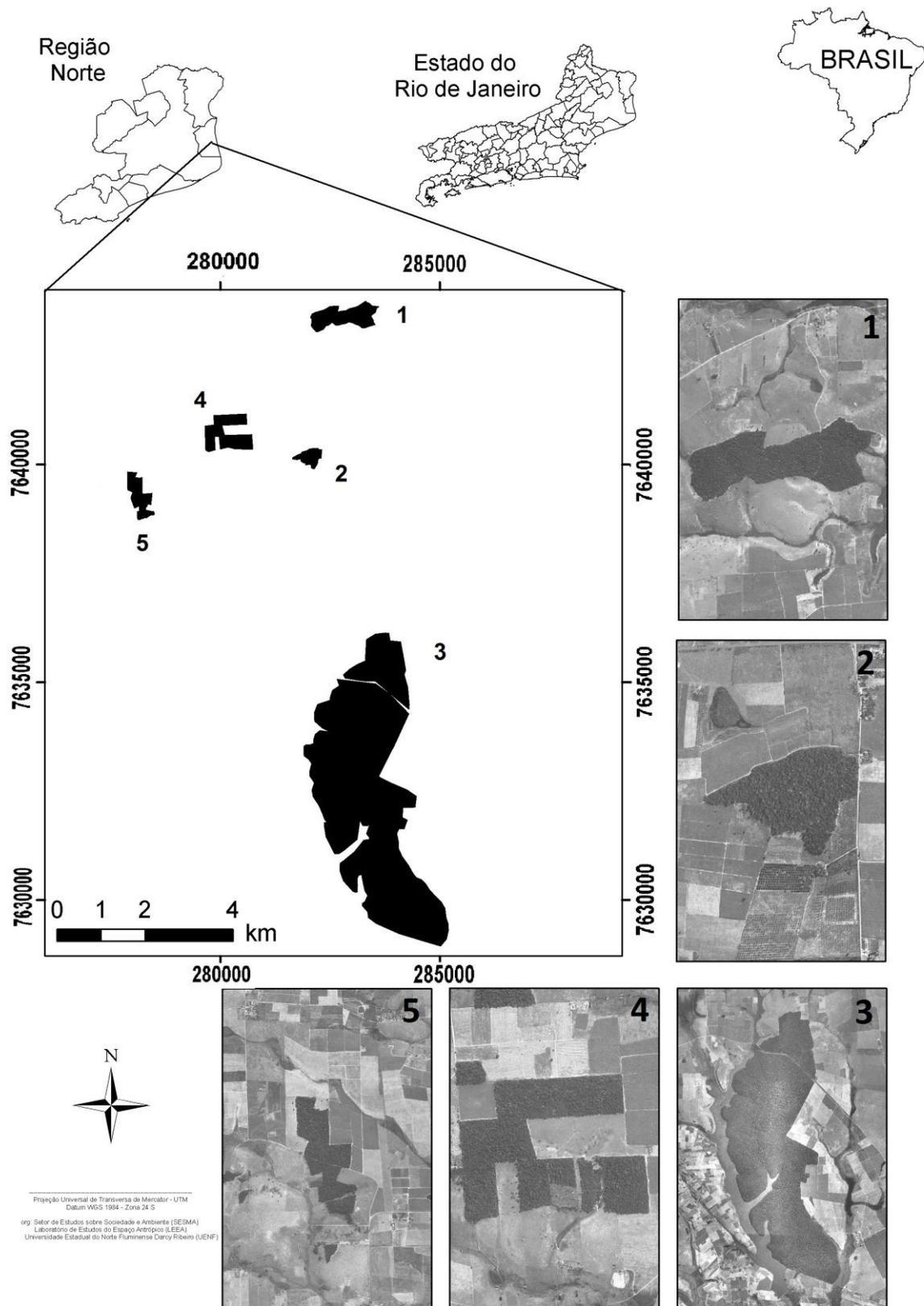
- Quantificar os estoques médios de necromassa (fina e grossa), presentes na borda e no interior de fragmentos de floresta atlântica estacional no norte fluminense;
- Estimar a taxa de emissão de C pela respiração heterotrófica derivada da necromassa fina e da necromassa grossa, na borda e interior de tais fragmentos;
- Avaliar a relação da respiração heterotrófica com diferentes variáveis da necromassa.

#### 4. ÁREA DE ESTUDO

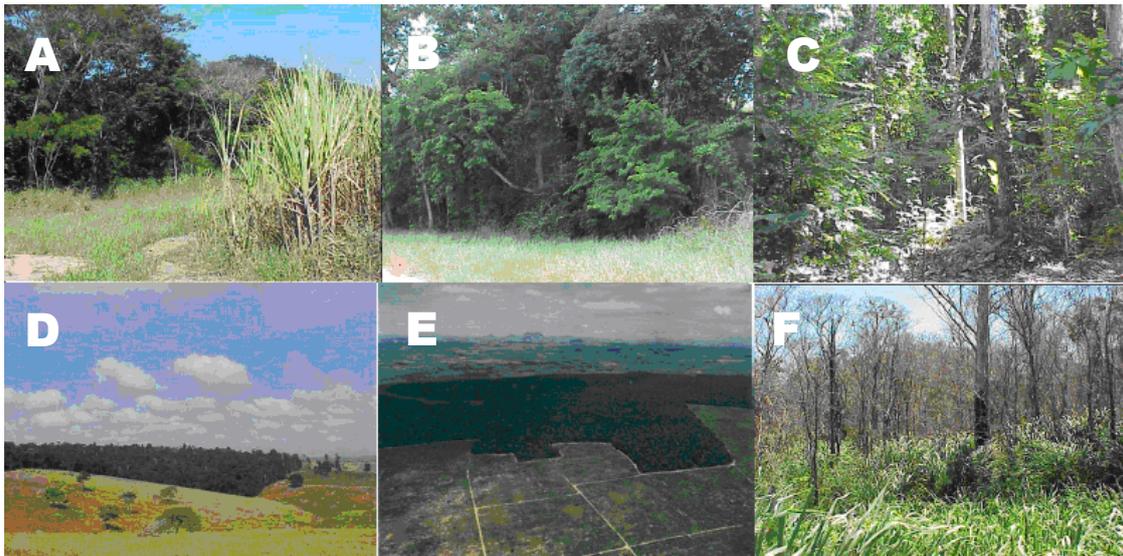
Para a o presente estudo, foram selecionados cinco fragmentos florestais de diferentes tamanhos, nos quais já vem sendo realizados estudos do grupo de ecologia vegetal do Laboratório de Ciências Ambientais (LCA/UENF) (Villela *et al.*, 1998; Silva & Nascimento, 2001; Villela *et al.*, 2006; Lins, 2007; Nascimento & Lima, 2008; Archanjo *et al.*, 2009; Villela *et al.*, 2011). A área de estudo compreende o fragmento localizado na Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba (EEEG), conhecido como Mata do Carvão, e outros quatro fragmentos florestais localizados nos arredores: Fazenda Imburi, Fazenda Santana, Fazenda Palmeiras e Fazenda Santo Antônio (figuras 3 e 4). Segundo informação de moradores locais, as áreas apresentam um histórico de perturbação semelhante, sofrendo pressão de caça, corte seletivo de madeiras e queimadas ocasionais (Abreu, 2013).

Archanjo *et al.* (2009), estudando a composição florística dos fragmentos aqui citados, verificaram a presença das espécies *Trigoniodendron spiritusanctense* e *Protium heptaphyllum*. Estas são classificadas como ameaçadas de extinção (Archanjo *et al.*, 2009). As espécies *Astronium sp.*, *Paratecoma peroba*, *Actinostemon verticillatus*, *Pachystroma longifolium*, *Pseudopiptadenia contorta*, *Alseis pickelli*, *Almeidea rubra*, *Metrodorea nigra var. brevifolia*, *Talisia coriacea* e *Trigoniodendron spiritusanctens*, são comuns a todos os fragmentos estudados (Archanjo *et al.*, 2009).

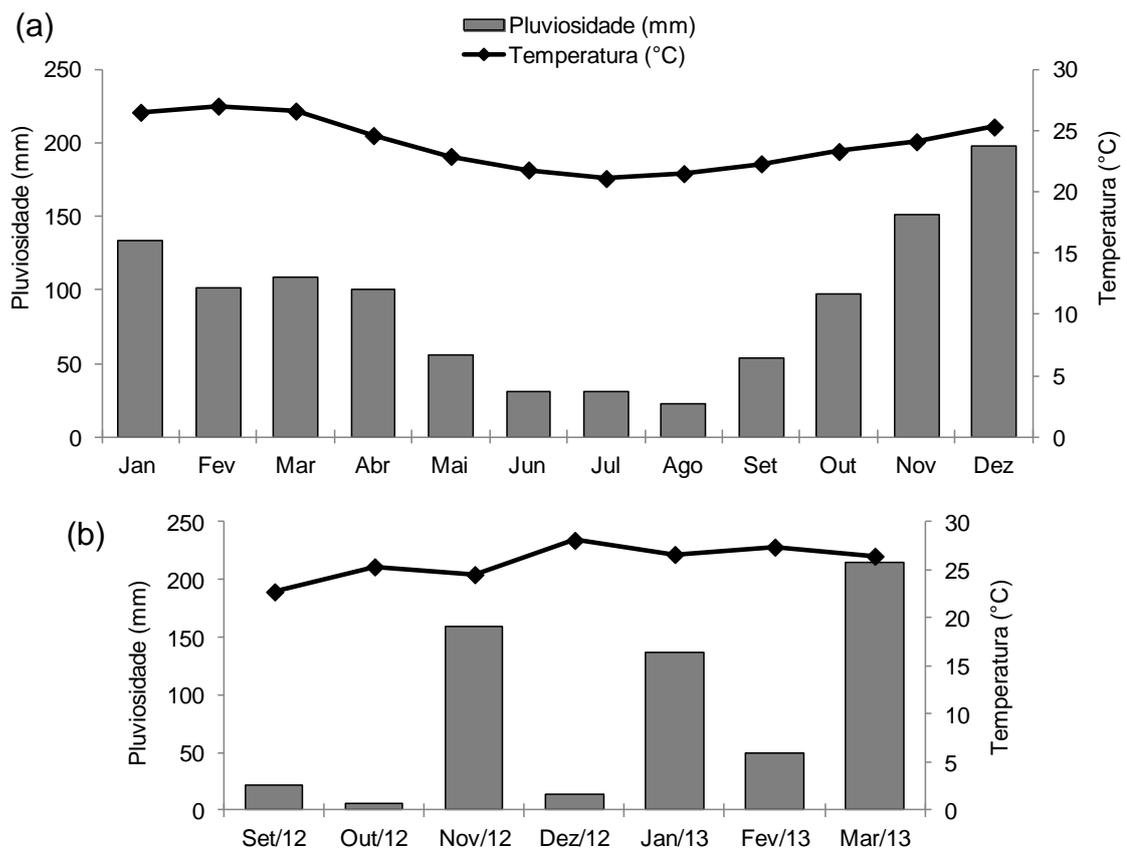
O solo da região é classificado como Podzólico Amarelo Álico de alta granulometria, baixa capacidade de retenção de água e pobre em nutrientes (RadamBrasil, 1983). O clima é marcadamente sazonal, com uma estação seca intensa de maio a setembro (Villela *et al.*, 2006). A precipitação média anual é de 1000 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso (150mm) e agosto o mais seco (30mm), segundo a média dos últimos 30 anos para a região (figura 5a). Entretanto, durante o período do estudo, houve uma precipitação consideravelmente baixa nos meses de outubro e dezembro de 2012 e fevereiro de 2013 (figura 5b). A temperatura média anual varia de 21°C a 25° C. A estação seca exibe grande intensidade de ventos, principalmente nordeste. O pico da queda das folhas ocorre na estação seca, com uma produção de serapilheira anual de 7,6 t/ha registrado para a Mata do Carvão, na EEEG (Villela *et al.*, 1998).



**Figura 3.** Localização dos fragmentos de florestas estacionais selecionados para o estudo, município de São Francisco do Itabapoana. 1-Fazenda Santo Antônio, 2-F. Imburi, 3- EEEG (Mata do Carvão), 4-F. Palmeiras, 5-F. Santana. Fonte: Laboratório de Estudos do Espaço Antrópico (LEEA/UENF).



**Figura 4.** Aspecto geral dos fragmentos de florestas estacionais estudados, localizados no município de São Francisco do Itabapoana – RJ. (A) Fragmento localizado na Fazenda Imburi, (B) Fragmento Fazenda Santana, (C) Fragmento Fazenda Palmeiras, (D) Fragmento Fazenda Santo Antônio, (E e F) EEG (Mata do Carvão). Fonte: Abreu, 2013.



**Figura 5.** Pluviosidade média e temperatura média mensal na região Norte Fluminense: (a) média de um período de 30 anos (Sentelhas *et al.*, 2003); (b) média mensal durante o período de estudo. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (site: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>)

### Mata do Carvão (EEEG)

A “Mata do Carvão” (figuras 3 e 6) é o maior e principal remanescente no Estado do Rio de Janeiro de um tipo de planície de Mata Atlântica conhecido como floresta de tabuleiro, também chamada de Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas (Villela *et al.*, 2006; Abreu, 2013). Está sob as coordenadas geográficas 21°24'54,8”S e 41°04'38,9”W e possui atualmente cerca de 1.200 ha, inseridos na Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba (EEEG). A EEEG foi criada através do decreto nº 32.576 de 30 de dezembro de 2002, com objetivo de preservação deste importante remanescente. Devido aos diversos tipos e graus de impactos sofridos ao longo do tempo e sua grande extensão, este remanescente possui áreas em diferentes estágios de regeneração e ainda possui uma região de mata preservada. É circundado por canaviais e estradas e durante muito tempo foi afetado fortemente pela extração ilegal de madeiras nativas para uso comercial e ainda existem vestígios de corte de árvores no local (Abreu, 2013). Sua vegetação é classificada como floresta estacional semidecídua e dominada por espécies das famílias Myrtaceae (*Eugenia* spp.), Leguminosae (*Pseudopiptadenia contorta*, *Parapiptadenia*) e Rutaceae (Silva & Nascimento, 2001).



**Figura 6.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4) para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual, Mata do Carvão (EEEG), São Francisco de Itabapoana, RJ.

### Fazenda Imburi

Fragmento situado em propriedade particular (figuras 3 e 7), está no entorno da EEEG sob as coordenadas  $21^{\circ}19'31,7''\text{S}$  e  $41^{\circ}06'00,0''\text{W}$ . É o menor dos fragmentos estudados, com área de aproximadamente 15 ha. Possui um sub-bosque fechado com árvores medindo em média 12m de altura e com dossel descontínuo. Poucos emaranhados e taquara na borda. Presença de epífitas como bromélias, orquídeas e aráceas. Localizado em área plana, vizinho imediato de estrada rural, fácil acesso. Parcialmente isolado por cerca. Vestígios de corte de árvores e exploração de óleo de copaíba. Tem como matriz circundante plantações de cana, maracujá, coco, mandioca e abacaxi (Abreu, 2013).



**Figura 7.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4), utilizados para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual da Fazenda Imburi, São Francisco de Itabapoana, RJ.

### Fazenda Santana

O fragmento Fazenda Santana (figuras 3 e 8), também de propriedade particular, situa-se nas coordenadas geográficas 21°20'08,7"S e 41°08'18,3"W e apresenta área de aproximadamente 35 ha. Seu sub-bosque é parcialmente fechado com dossel aberto e árvores com aproximadamente 10m de altura. Algumas árvores caídas e clareiras. Sua matriz circundante é composta principalmente por plantios de cana-de-açúcar e pasto. Este fragmento apresenta área plana e é cortado por uma estrada rural o que lhe confere fácil acesso. É parcialmente isolado por cerca e também apresenta vestígios de corte de árvores (Abreu, 2013).



**Figura 8.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4) para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual Fazenda Santana, São Francisco de Itabapoana, RJ.

### Fazenda Palmeiras

A Fazenda Palmeiras (figuras 3 e 9),  $21^{\circ}19'17,7''\text{S}$  e  $41^{\circ}07'11,3''\text{W}$ , com área de 49 ha, está no entorno da EEEG. Também apresenta sub-bosque parcialmente fechado com dossel descontínuo e árvores com altura média de 12m. Grande densidade de cipós e poucas árvores caídas. Alta incidência luminosa em seu interior o que favorece o aparecimento de gramíneas. Localizado em área plana e está muito próximo à estrada asfaltada de acesso ao distrito Praça João Pessoa. Sua matriz circundante apresenta plantações de cana-de-açúcar e pasto. Também apresenta vestígios de caça (armadilhas) e corte seletivo (Abreu, 2013).



**Figura 9.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4) para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual Fazenda Palmeiras, São Francisco de Itabapoana, RJ.

## Fazenda Santo Antônio

Este fragmento é o mais distante da EEEG,  $21^{\circ}17'48,7''\text{S}$  e  $41^{\circ}05'25,2''\text{W}$ , possui área de 55 ha, com sub-bosque fechado, muitos emaranhados (grandes densidade de cipós) e poucas árvores caídas. Há presença de bromélias e orquídeas e árvores com altura média entre 12 e 15m com dossel contínuo. Tem como matriz circundante plantações de maracujá e mandioca, além de pasto. Possui cerca circundando o fragmento e uma trilha para passagem de gado. Está localizado numa área de encosta pouco íngreme com suaves e esparsas elevações e acesso mais restrito (figuras 3 e 10) (Abreu, 2013).



**Figura 10.** Localização dos transectos de borda (1 e 2) e interior (3 e 4) para a realização do estudo no fragmento de floresta estacional semidecidual Fazenda Santo Antônio, São Francisco de Itabapoana, RJ.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. DESENHO EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado em quatro transectos de 100m de comprimento em cada um dos fragmentos (figuras 6, 7, 8, 9 e 10). Dois foram alocados a 10 m da borda tal como definido por Portela & Santos (2007) e Fox *et al.* (1997), e dois no interior de cada fragmento, a pelo menos 100m da borda mais próxima. As coletas

foram realizadas entre os meses de Outubro/2012 (início da estação chuvosa) e Março/2013 (fim da estação chuvosa), pelo período da manhã (entre 8h e 12h). As datas de coletas em cada transecto são apresentadas no apêndice 1.

## 5.2. COLETA DE DADOS

### 5.2.1. Estoque de necromassa fina

A camada de necromassa fina sobre o solo foi amostrada pelo método de quadrats de 0,25 m<sup>2</sup> (50 cm x 50 cm) de área (Villela *et al.*, 2006), distribuídos a cada 20m em cada um dos transectos, totalizando seis pontos de coleta por transecto (pontos 0m, 20m, 40m, 60m, 80m e 100m). Todo o material morto, acima do solo, dentro dos quadrats foi coletado (Proctor, 1983; Villela *et al.*, 2006). A espessura da camada de necromassa fina foi determinada utilizando o coletor M-H (Marimon-Junior e Hay, 2008) (figura 11).



**Figura 11.** Coletor M-H para determinação direta da espessura da camada de necromassa fina. Fonte: Marimon-Junior e Hay (2008)

O material coletado foi acondicionado em sacos de papel e levado para o Laboratório Ciências Ambientais para secagem em estufa à temperatura de 60°C por 48h e obtenção do peso seco. A camada de necromassa fina foi separada em três frações: folhas; galhos finos (menores que 2 cm de diâmetro); e resto. Foram descartadas raízes destacadas da necromassa e, utilizando uma peneira (malha de 2mm), toda a fração menor que 2 mm, composta em grande parte de partículas de solo foi também descartada (Proctor, 1983; Villela *et al.*, 2006).

### 5.2.2. Estoque de necromassa grossa

Para estimar o estoque de necromassa grossa foi utilizado o protocolo do PPBio (Programa de Pesquisa em Biodiversidade) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Barbosa *et al.*, 2009) para produção e estoque de necromassa. Neste protocolo a serapilheira grossa é definida como “Liteira Grossa”. Segundo Barbosa *et al.* (2009) este compartimento pode ser dividido entre peças intermediárias (diâmetro entre 2cm e 10cm) e peças grossas (diâmetro maior que 10cm). A mesma classificação foi adotada neste estudo.

Para estimar indiretamente o estoque de necromassa grossa, foi adotado o método LIS (Line Intersect Sampling) (van Wagner, 1968). O princípio básico deste método é o de medir o diâmetro de cada uma das peças de madeira caídas igual ou superior a 2 cm, que tocam uma linha esticada ao longo dos transectos estabelecidos nos fragmentos. O diâmetro de cada peça foi obtido através da circunferência obtida no campo com o auxílio de fita centimétrica. Neste trabalho não foram quantificadas as árvores mortas em pé. Desta forma, é possível calcular o volume sólido total das peças que são tocadas pela linha através da seguinte fórmula (van Wagner, 1968) (equação 1):

$$V = \frac{\pi^2 \times \sum d^2}{8 \times L} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

**V** = volume da madeira por unidade de área;

$d$  = diâmetro de cada uma das peças inclusas na linha amostral;

$L$  = comprimento da linha amostral.

#### **5.2.2.1. Categorias das Peças (Grupos funcionais, Graus de Decomposição e Tamanho)**

Cada uma das peças de madeira foi classificada em três grandes grupos funcionais taxonômicos: Arecaceae (palmeiras), Árvores (não monocotiledôneas arbóreas em geral) e Lianas (Barbosa *et al.*, 2009). Por se tratar de indivíduos mortos (peças), não foi possível realizar a identificação no nível de espécie. Além desta classificação, as peças amostradas pelo método LIS também foram classificadas pelo seu grau de decomposição. Três categorias de “grau de decomposição” foram adotadas (Barbosa *et al.*, 2009): 1 – peças sem nenhum sinal de ataque de insetos ou fungos (nível de decomposição inexistente ou não perceptível), geralmente recém caídas ou com alta resistência ao ataque de microrganismos (menos de 10% de perda de massa); 2 – peças com leves sinais de ataques de insetos e fungos (deterioração na fase inicial), geralmente peças com pequenas partes ocas, mas ainda com alta resistência mecânica ao toque manual (entre 10-30% de perda de massa); 3 – peças em estágio avançado de decomposição, com sinais claros de apodrecimento em diferentes estágios (mais de 30% de perda de massa). Outra classificação adotada abordou o tamanho das peças amostradas, separando-as em duas classes de tamanho, peças médias (diâmetro entre 2 e 9,9 cm) e peças grossas (diâmetro maior que 10 cm) (adaptado de Barbosa *et al.*, 2009)

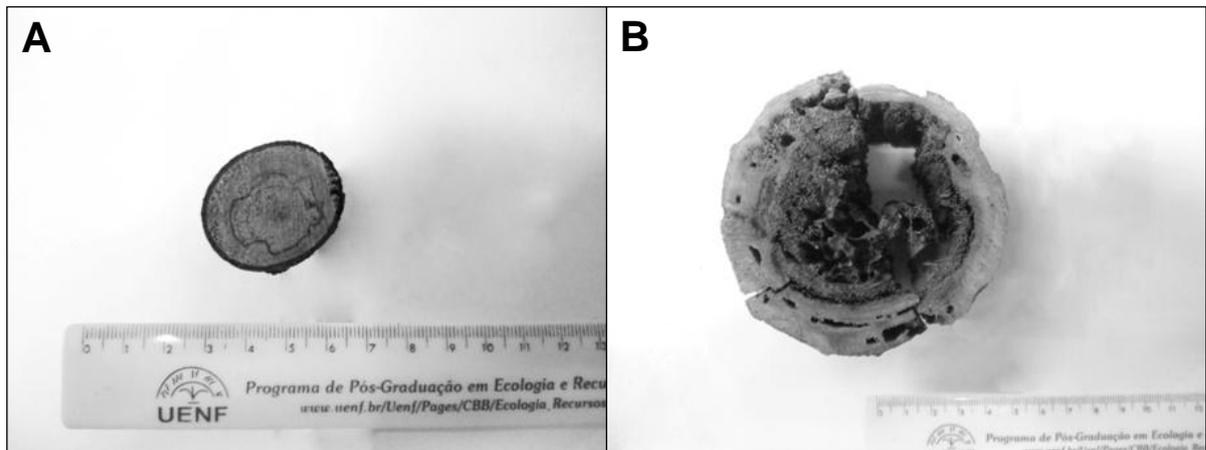
#### **5.2.2.2. Ajuste do Volume Sólido e Determinação da Densidade**

Para ajustar o volume sólido da necromassa grossa, obtido pelo método LIS, no volume real e determinar a densidade básica (razão entre o peso seco e o volume saturado) desta, foram coletadas amostras de diferentes grupos funcionais, graus de decomposição e classes de tamanho, e analisadas conforme descrição abaixo. Todas as análises descritas a seguir foram realizadas no Laboratório de Ciências Ambientais do Centro de Biociências e Biotecnologia (UENF).

As amostras foram coletadas a partir da retirada de um pequeno disco amostral (casca, cerne e alburno) das mesmas peças medidas nas linhas. Para as peças de necromassa grossa com diâmetro menores, a retirada dos discos foi realizada com arco de serra portátil (Barbosa *et al.*, 2009). Já as peças com diâmetro bem maior (troncos caídos) foram coletadas com o auxílio de uma serra traçador de madeira, para o ajuste do volume real presente e cálculo de densidade básica.

A densidade básica da madeira morta é definida como o peso seco (em gramas) dividido pelo volume saturado ( $\text{cm}^3$ ) (Bowyer *et al.*, 2007). Para o cálculo da densidade, assumiu-se que a umidade da peça coletada em campo equivaleria ao volume saturado. O volume saturado das peças foi calculado pelo Princípio de Arquimedes, considerando que o volume de água deslocado pela peça mergulhada é igual ao volume da peça de madeira morta. Foram utilizadas provetas graduadas de 250mL ou 500mL. Para a conversão do volume considerou-se que  $1\text{ml} = 1\text{cm}^3$ . Amostras cujo tamanho não permitia a imersão na proveta foram fracionadas para a obtenção do volume. Em seguida a peça (ou sua parte fracionada) foi levada para secagem em estufa a temperatura de aproximadamente  $60^\circ\text{C}$  até peso constante, para posterior pesagem. Com os valores de volume ( $\text{cm}^3$ ) e peso seco (g) realizou-se o cálculo da densidade básica (Barbosa *et al.*, 2009).

Antes da determinação da densidade básica das amostras, estas foram remedidas quanto a circunferência e espessura e limpas com pincel para retirada de todos os fragmentos presentes nas cavidades formadas pela deterioração. Após a limpeza das peças, estas foram fotografadas em sua face cortada (figura 12) para se estabelecer as porcentagens de perda de material (Barbosa *et al.*, 2009). Com isso é possível ajustar o volume obtido pelo método LIS, formatando uma relação da perda de massa obtida pela análise da fotografia e o volume sólido de cada uma das peças pelo método LIS. Para o cálculo da perda de material foi utilizado o programa ADOBE PHOTOSHOP CS5 EXTENDED versão 12.0.



**Figura 12.** Exemplos de fotografias das peças de necromassa grossa para análise da perda de material (área real menos área decomposta) e ajuste do volume obtido pelo método LIS.

Através da análise das fotografias foi possível estabelecer as porcentagens de perda física de material, descontado as partes decompostas (ausentes) por micro-organismos ou perda mecânica. Estimando a percentagem de perda física de cada amostra é possível calcular o volume corrigido extraíndo o percentual estimado de ausência de material lenhoso do volume obtido pela LIS (Barbosa *et al.*, 2009). Todos os cálculos de perda de volume e densidade básica foram realizados em função das classes de diâmetro, dos graus de decomposição e grupos funcionais (Barbosa *et al.*, 2009).

### 5.2.2.3. Cálculo da Necromassa Grossa

O cálculo do estoque de biomassa derivado da necromassa grossa é baseado nos resultados de perda de massa (%), volume (pelo método LIS) e densidade básica ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), por categoria diamétrica, grau de decomposição e grupos funcionais taxonômicos de cada uma das amostras observadas em campo. O cálculo da necromassa total presente por transecto foi realizado como um somatório de todas as massas individuais medidas. Cada massa individual é calculada como uma função do volume real presente (sólido total – ausente estimado) e a densidade básica estimada de cada peça.

### 5.2.3. Respiração Heterotrófica

As medidas de respiração heterotrófica da necromassa foram realizadas utilizando um analisador de CO<sub>2</sub> por infravermelho (Environmental Gas Monitor, EGM-4) acoplado a um sistema de câmara fechada (PP Systems 2002) conectado a um cilindro de polivinilcarbono- PVC, com uma das extremidades vedada (Gurdak *et al.*, 2013). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Essa medida foi realizada com as mesmas amostras coletadas para a estimativa do estoque de necromassa grossa. Para a necromassa fina, as amostras foram coletadas com o aparelho coletor M-H para camada de necromassa fina (Marimon-Junior e Hay, 2008), que permite conhecer o volume da camada de necromassa fina multiplicando a espessura da camada pela área do coletor (Marimon-Junior e Hay, 2008), para as análises da respiração heterotrófica.

As medições foram realizadas em laboratório, com temperatura controlada próxima a 25°C (temperatura média das áreas dos fragmentos) (Aragão, 2000), no mesmo dia da coleta. As amostras de necromassa grossa coletadas tiveram seu volume e peso (úmido e seco) conhecido, obtidos anteriormente para os cálculos da biomassa. A temperatura das amostras foi obtida com auxílio de termômetro digital. As amostras de necromassa fina também tiveram seu peso, seco e úmido, estimados, e para esta, assumiu-se que a temperatura da amostra era a mesma do ambiente.

Para a medição da respiração heterotrófica da necromassa fina e grossa, as amostras foram colocadas dentro do cilindro de PVC e este era acoplado à câmara de respiração. A concentração de CO<sub>2</sub> (ppm) dentro do sistema foi medida pelo analisador a cada 5 segundos em um total de 120 segundos.

Antes das medidas do fluxo de CO<sub>2</sub> a partir da necromassa grossa, as amostras foram deixadas por aproximadamente 2h ao ar livre para equilibrar as concentrações de CO<sub>2</sub> da madeira com a atmosfera (Chambers *et al.*, 2001b). Isso porque logo após cortadas, as amostras liberam CO<sub>2</sub> rapidamente devido as diferenças de pressão parcial da madeira e a atmosfera (Chambers *et al.*, 2001b). Alguns estudos sugerem que as atividades biológicas de respiração não são

significativamente alteradas pelo corte e tempo esperados até a medição do fluxo de CO<sub>2</sub> (Chambers *et al.*, 2001b).

As medidas da respiração heterotrófica foram calculadas pela fórmula (modificada de PP Systems-2003) (equação 2):

$$r = \left( b \cdot \frac{P}{1000} \cdot \frac{273}{273 + T_c} \cdot \frac{44.01}{22.41} \cdot V \right) \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

**r** = é o fluxo de CO<sub>2</sub> (mg CO<sub>2</sub>.s<sup>-1</sup>);

**b**= é a taxa de acumulação de CO<sub>2</sub> na câmara (ppm.s<sup>-1</sup>);

**P**= é a pressão atmosférica (mbar);

**T<sub>c</sub>**= é a temperatura da câmara (°C) (medida como temperatura da amostra);

**V**= é o volume da câmara somado ao tubo de PVC acoplado menos o volume da amostra (m<sup>3</sup>).

A taxa de acumulação de CO<sub>2</sub>, **b**, foi calculada a partir do coeficiente angular da reta obtida pela regressão linear entre a concentração de CO<sub>2</sub> (ppm) na câmara e o tempo (segundos).

O fluxo de CO<sub>2</sub>, em seguida, foi transformado em unidade de massa de carbono (**r<sub>t</sub>**, µg C<sub>R</sub>/ min; onde C<sub>R</sub> é o carbono respirado), multiplicando-se o valor do fluxo pelo fator de conversão 0,273 (conversão de massa de CO<sub>2</sub> para massa de C), e depois o valor foi convertido na taxa de respiração de C usando a seguinte fórmula (equação 3):

$$R = \frac{r_t}{W} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

**R=** é a taxa de respiração heterotrófica da necromassa em unidade de carbono ( $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ ;  $C_R$  é o carbono respirado e  $C_N$  é o conteúdo de carbono da necromassa seca); e

**W=** é o peso seco da necromassa expresso em conteúdo de C (multiplicado por 0,49 segundo Chambers *et al.*, 2001b).

### 5.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para verificar a normalidade das distribuições dos dados de cada variável medida foi realizado o teste de Shapiro-Wilks ( $p < 0,05$ ), acompanhado da verificação visual por gráficos dos quantis normais (QQ/plot). O efeito de borda quanto ao estoque de necromassa fina e grossa e a respiração heterotrófica foram avaliados a partir da comparação das médias entre borda e interior pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ), quando as distribuições eram normais, considerando os fragmentos como unidades amostrais. Transformações logarítmicas e quadráticas foram usadas nas variáveis que não seguiam uma distribuição normal. Estas transformações foram realizadas com o objetivo de aumentar a probabilidade de uma distribuição normal e garantir a homocedasticidade das variâncias nas variáveis que exibiram distribuições assimétricas e heterocedasticidade. Para as variáveis que mesmo transformadas não atingiram a normalidade, foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ).

Quando não foi observada diferença entre as áreas pelo efeito de borda, os quatro transectos de cada fragmento foram considerados como unidades amostrais. Uma análise de variância simples (Anova-one-way) foi realizada para testar possíveis diferenças entre os fragmentos, e quando confirmadas as diferenças, um teste de comparações múltiplas (Tukey,  $p < 0,05$ ) foi realizado em seguida. Para garantir a sustentação das premissas dos modelos gerados foi realizado um teste diagnóstico e a análise de variância dos resíduos (Teste de Levene,  $p < 0,01$ ) para testar a homocedasticidade.

As relações entre a respiração heterotrófica e a umidade, densidade, circunferência e volume da necromassa grossa foram avaliadas por meio de regressões lineares. A relação entre a umidade e a densidade da necromassa

grossa e a relação entre a respiração heterotrófica da necromassa fina e sua umidade e espessura da camada sobre o solo também foram avaliadas por meio de regressões lineares. Foi realizado um teste diagnóstico para garantir a sustentação das premissas dos modelos gerados.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico “R” versão 2.14.0.

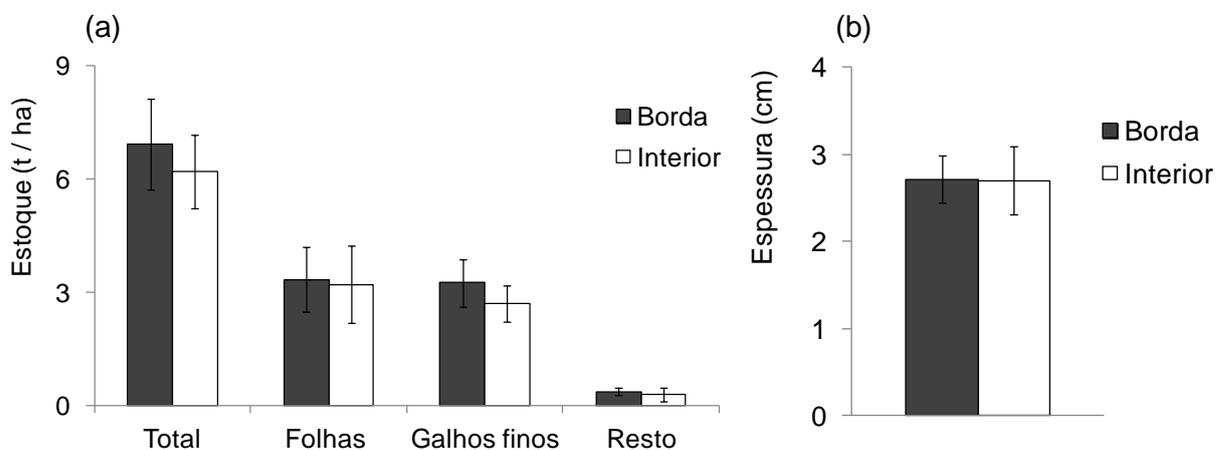
## **6. RESULTADOS**

### **6.1 Estoque da Necromassa Fina**

A média do estoque total da necromassa fina para os fragmentos de floresta estacional estudados foi de  $6,94 \pm 1,20$  t/ha (borda) e  $6,20 \pm 0,98$  t/ha (interior) (figura 13a). Estes valores não apresentaram diferenças entre borda e interior, assim como as frações folhas, galhos finos e resto (figura 13a, apêndice 2). A espessura média da camada de necromassa fina sobre o solo também não diferiu entre as áreas de borda e interior dos fragmentos, conforme observado na figura 13b e no apêndice 2. A tabela 1 apresenta os valores médios e desvios-padrão do estoque de necromassa fina nas áreas de borda e interior de cada fragmento.

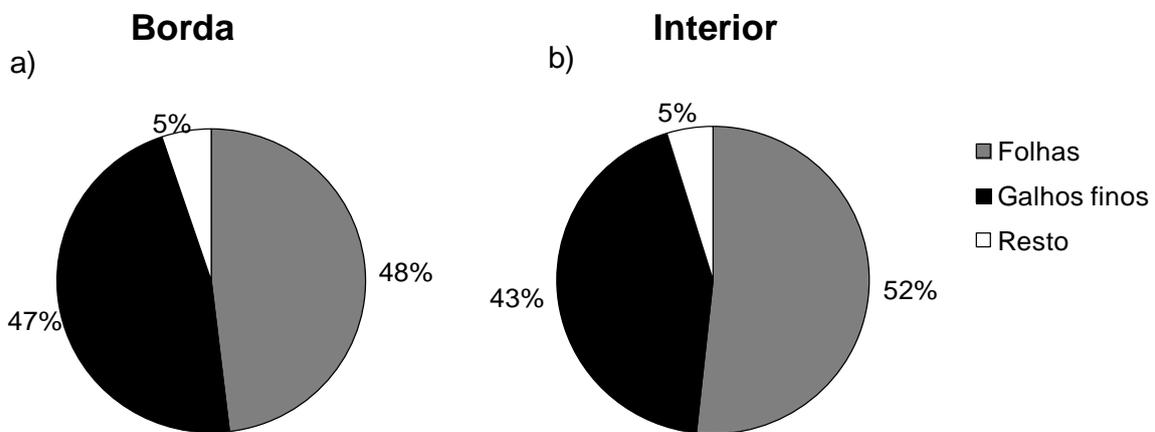
**Tabela 1.** Valores médios e desvios-padrão do estoque total e por frações da necromassa fina por fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no município de São Francisco do Itabapoana, RJ.

Fragmento	Área dos Fragmentos (ha)	Fração	Estoque (t/ha)	
			Borda	Interior
EEEG	1200	Folhas	1,89 ± 1,06	1,60 ± 0,32
		Galhos finos	2,39 ± 0,41	2,70 ± 0,93
		Resto	0,53 ± 0,23	0,55 ± 0,04
		<b>Total</b>	<b>4,81 ± 0,87</b>	<b>4,84 ± 1,21</b>
Fazenda Imburi	15	Folhas	3,71 ± 0,75	3,53 ± 0,02
		Galhos finos	3,60 ± 0,37	3,44 ± 0,02
		Resto	0,30 ± 0,17	0,40 ± 0,28
		<b>Total</b>	<b>7,62 ± 0,22</b>	<b>7,38 ± 0,31</b>
Fazenda Palmeiras	49	Folhas	3,34 ± 0,24	3,95 ± 1,39
		Galhos finos	4,06 ± 0,44	2,52 ± 0,49
		Resto	0,31 ± 0,17	0,25 ± 0,13
		<b>Total</b>	<b>7,70 ± 0,85</b>	<b>6,72 ± 1,75</b>
Fazenda Santana	35	Folhas	3,73 ± 0,56	4,11 ± 1,59
		Galhos finos	3,17 ± 1,53	2,16 ± 0,77
		Resto	0,34 ± 0,13	0,16 ± 0,04
		<b>Total</b>	<b>7,25 ± 2,22</b>	<b>6,44 ± 0,78</b>
Fazenda Stº Antônio	55	Folhas	4,03 ± 1,58	2,83 ± 0,71
		Galhos finos	2,99 ± 1,29	2,66 ± 0,95
		Resto	0,32 ± 0,04	0,12 ± 0,04
		<b>Total</b>	<b>7,34 ± 2,92</b>	<b>5,61 ± 0,28</b>



**Figura 13.** Estoque total e por frações (a) e espessura (b) da camada de necromassa fina em florestas estacionais semidecíduais do Norte Fluminense, RJ.

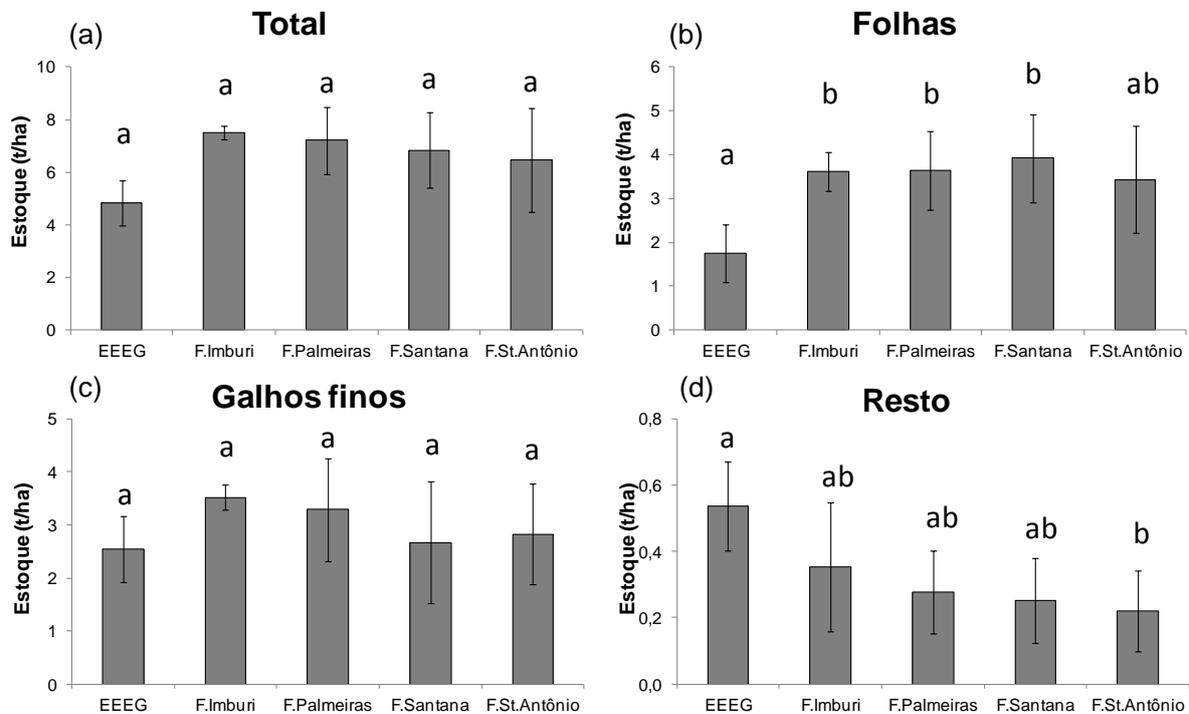
O estoque médio de folhas para o tipo florestal foi de  $3,34 \pm 0,85$  t/ha para as áreas de borda dos fragmentos, representando 48% do total do estoque da necromassa fina sobre o solo nessas áreas (figura 14a), e de  $3,20 \pm 1,02$  t/ha para o interior, correspondendo a 52% do total (figura 14b). Já a fração galhos se mostrou bastante representativa no estoque de necromassa fina contribuindo com cerca de 47% do total estocado sobre o solo em áreas de borda (figura 14a), apresentando valor médio de  $3,24 \pm 0,63$  t/ha. No interior dos fragmentos o estoque médio da fração galhos finos foi de  $2,70 \pm 0,47$  t/ha, representando cerca de 43% (figura 14b) do total.



**Figura 14.** Participação das frações do estoque de necromassa fina no estoque total em áreas de borda (a) e interior (b) em fragmentos de florestas estacionais semideciduais do Norte Fluminense, RJ.

Como não foi encontrada diferença entre as áreas de borda e interior dos fragmentos, foi realizada uma análise de variância entre os fragmentos, considerando os quatro transectos como unidade amostral. A análise de variância mostrou diferenças significativas para as frações folhas (figura 15b, apêndice 4) e resto (figura 15d, apêndice 6) da necromassa fina. O teste de comparações múltiplas (Tukey) para a fração folhas (figura 15d) mostrou que o fragmento EEG se diferencia dos demais, por possuir menor estoque de folhas na necromassa fina, com exceção do fragmento Fazenda St<sup>o</sup>. Antônio. Para a necromassa fina total e a fração galhos finos não foram encontradas diferenças (figura 15a e figura 15c,

apêndices 3 e 5). Para a fração resto foram diferentes entre si os fragmentos EEEG e Fazenda St<sup>o</sup>. Antônio (figura 15d).



**Figura 15.** Estoque (t/ha) de necromassa fina total e por frações em fragmentos de florestas estacionais semidecíduais do Norte Fluminense, RJ. (a) total, (b) folhas, (c) galhos finos e (d) resto. Letras diferentes indicam diferença significativa entre fragmentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para a fração da necromassa fina correspondente.

## 6.2 Estoque da Necromassa Grossa

No total, foram amostradas 850 peças de madeira referentes à necromassa grossa encontradas nos 20 transectos (borda e interior) no total dos cinco fragmentos, que corresponderam ao volume total de material lenhoso morto amostrado (necromassa) de 107,16 m<sup>3</sup>/ha. O número de peças de necromassa grossa amostradas por fragmento, grupos funcionais, classe de diâmetro e graus de decomposição está demonstrado na tabela 2. Somente um indivíduo do grupo funcional “Arecaceae” (palmeiras) foi encontrado e por este motivo não foi utilizado nas análises quanto ao volume e o estoque da necromassa grossa por classes funcionais. Contudo, foi incorporado ao total nas demais análises por grau de

decomposição, tamanho dos indivíduos e estoque e volume de necromassa grossa total.

As peças em estágio de decomposição mais avançado (grau 3) representaram 68% do total encontrado. Aquelas em estágios intermediário de degradação (grau 2) e o de menor (grau 1), totalizaram 23% e 9%, respectivamente. Quanto aos grupos funcionais estudados, 89% das peças encontradas foram classificadas como “árvores”, enquanto as “lianas” corresponderam a 11% do total encontrado. Por outro lado, 92% dos indivíduos tinham diâmetro entre 2 cm e 9,9 cm (classe de tamanho “M”) e somente 8% apresentavam diâmetro maior que 10 cm.

**Tabela 2.** Número de peças de necromassa grossa encontradas por Fragmento nos transectos de Borda e Interior, por Grupos Funcionais, Classe de Diâmetro (M, 2-9,9 cm; G,  $\geq 10$ cm) e Graus de Decomposição (1= 0 a 10%; 2= 10 a 30% e 3= >30%) em fragmentos de florestas estacionais nos norte fluminense.

Fragmentos	Grupos	Classe de Diâmetro	Borda			Interior		
			1	2	3	1	2	3
EEEEG	Árvores	G	-	-	7	-	-	14
		M	3	8	47	3	18	43
	Lianas	M	2	3	10	-	2	1
	Arecaceae	M	1	-	-	-	-	-
Fazenda Imburi	Árvores	G	-	-	2	1	-	5
		M	8	20	65	18	24	50
	Lianas	M	1	1	8	-	1	9
Fazenda Palmeiras	Árvores	G	-	1	7	1	-	7
		M	10	18	54	4	2	45
	Lianas	M	-	2	4	5	2	13
Fazenda Santana	Árvores	G	-	1	6	-	-	3
		M	4	22	45	2	14	40
	Lianas	M	1	2	4	-	-	6
Fazenda St. Antônio	Árvores	G	-	1	7	-	1	3
		M	7	17	49	3	9	36
	Lianas	M		2	6	1	2	6

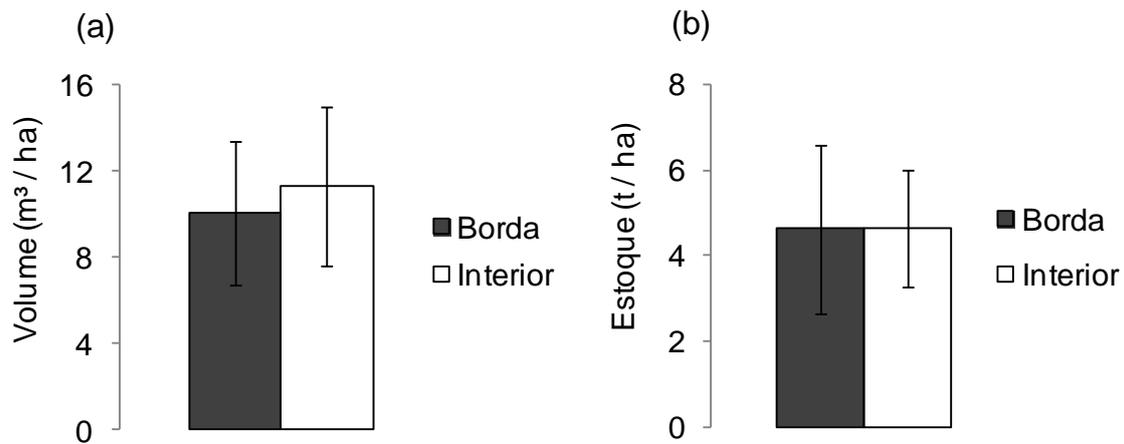
Para os cálculos de densidade e perda de massa, utilizados para a correção do volume e estimativa do estoque, foram retirados discos amostrais de 469 peças de necromassa grossa entre as 850 amostradas pelo LIS, entre as diferentes categorias de classificação adotadas neste estudo, obtendo-se uma média da densidade e da perda de massa para cada grupo.

Os valores médios totais de volume e estoque da necromassa grossa (tabela 3), independente dos grupos funcionais, classe de tamanho e graus de decomposição, possuem grande variação entre os fragmentos, com destaque para o fragmento Fazenda Palmeiras. Este aparentemente possui maior volume e estoque de necromassa que os demais, tanto nas áreas de borda como no interior dos fragmentos (tabela 3).

**Tabela 3.** Valores médios e desvios-padrão de volume (m<sup>3</sup>/ha) e estoque (t/ha) de necromassa grossa total em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

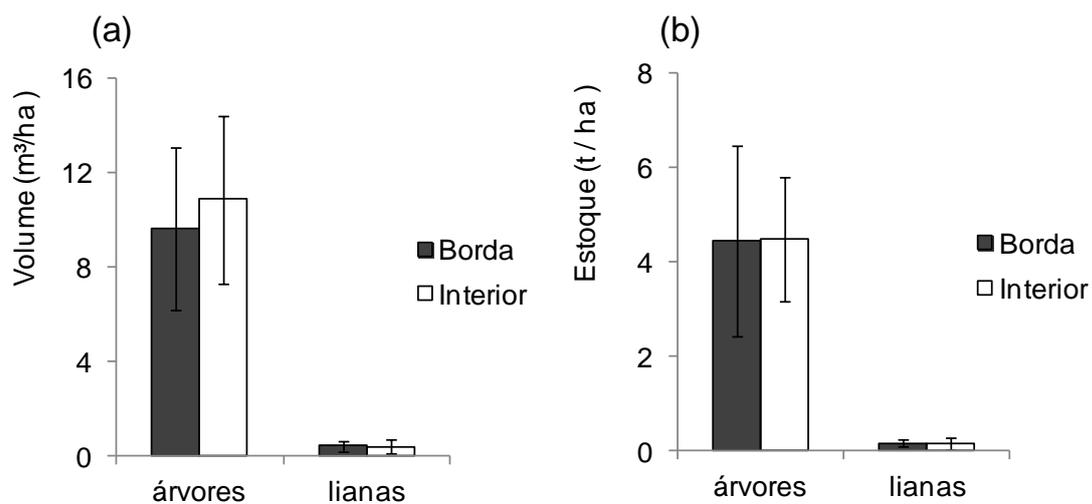
Fragmentos	Volume (m <sup>3</sup> / ha)		Necromassa (t/ha)	
	Borda	Interior	Borda	Interior
EEEG	12,15 ± 0,41	12,40 ± 0,34	5,32 ± 0,51	5,04 ± 0,11
Fazenda Imburi	6,12 ± 1,58	10,53 ± 0,53	2,55 ± 1,03	4,26 ± 0,35
Fazenda Palmeiras	14,65 ± 3,63	16,98 ± 9,76	7,71 ± 3,67	6,63 ± 2,05
Fazenda Santana	8,77 ± 1,68	7,06 ± 2,43	3,68 ± 0,18	2,87 ± 1,00
Fazenda St. Antônio	8,83 ± 3,94	9,67 ± 1,45	3,83 ± 2,23	4,32 ± 0,18
<b>Média geral</b>	<b>10,11 ± 3,32</b>	<b>11,33 ± 3,70</b>	<b>4,62 ± 1,99</b>	<b>4,62 ± 1,37</b>

Não houve diferença significativa quanto ao volume e o estoque total da necromassa grossa entre áreas de borda e interior neste tipo florestal (figura 16, apêndice 7), devido principalmente a grande variabilidade entre as unidades amostrais.

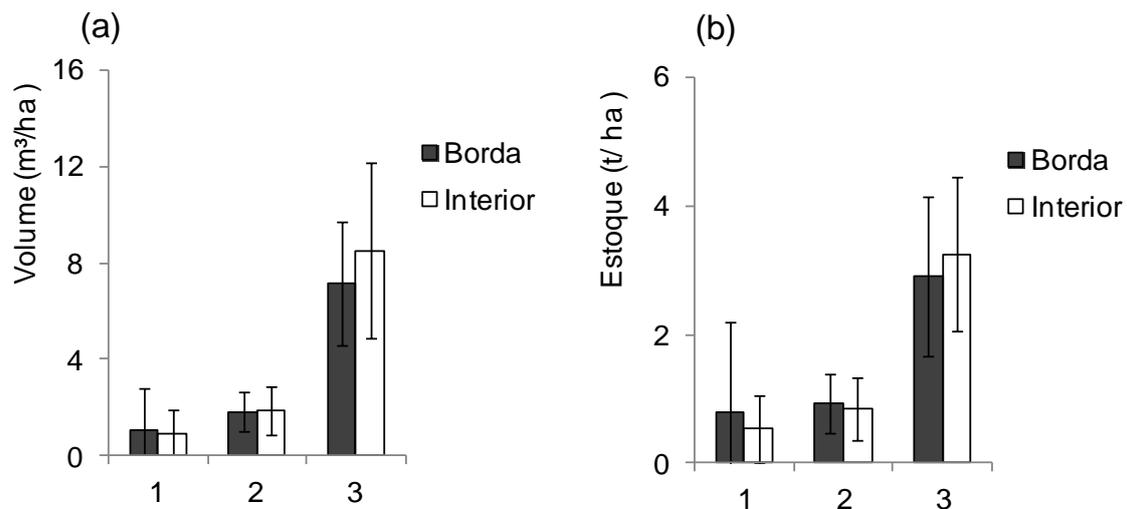


**Figura 16.** Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa total em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ.

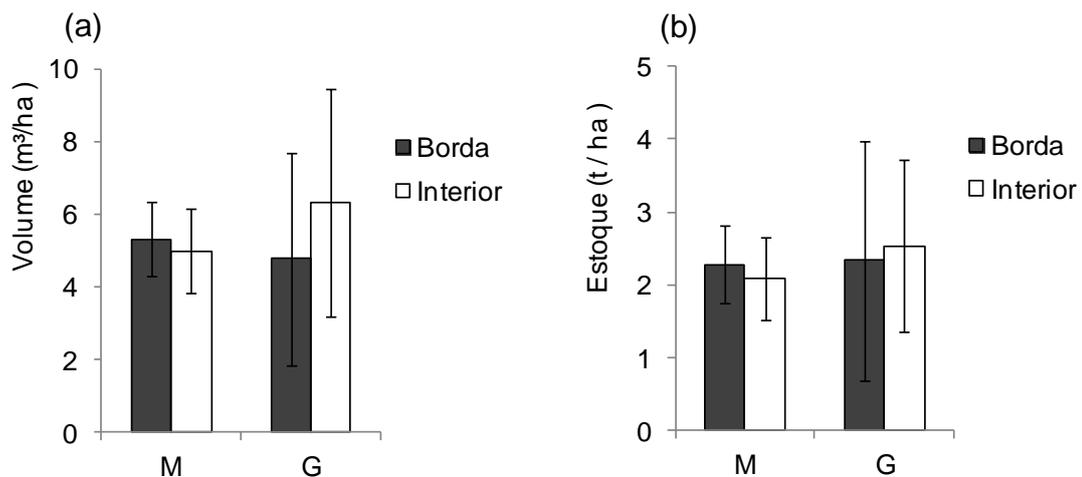
Também não foram significativas as diferenças entre borda e interior para o volume e o estoque da necromassa grossa, considerando separadamente os grupos funcionais (figura 17, apêndice 8), os graus de decomposição (figura 18, apêndice 9) e as classes de tamanho (figura 19, apêndice 10) adotadas neste estudo. Entretanto, houve uma tendência de menor volume e estoque de necromassa grossa na borda do que no interior das madeiras grandes (Fig. 19b) e com maior grau de decomposição (Fig. 18b).



**Figura 17.** Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa em áreas de borda e interior, por grupos funcionais, de fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ.



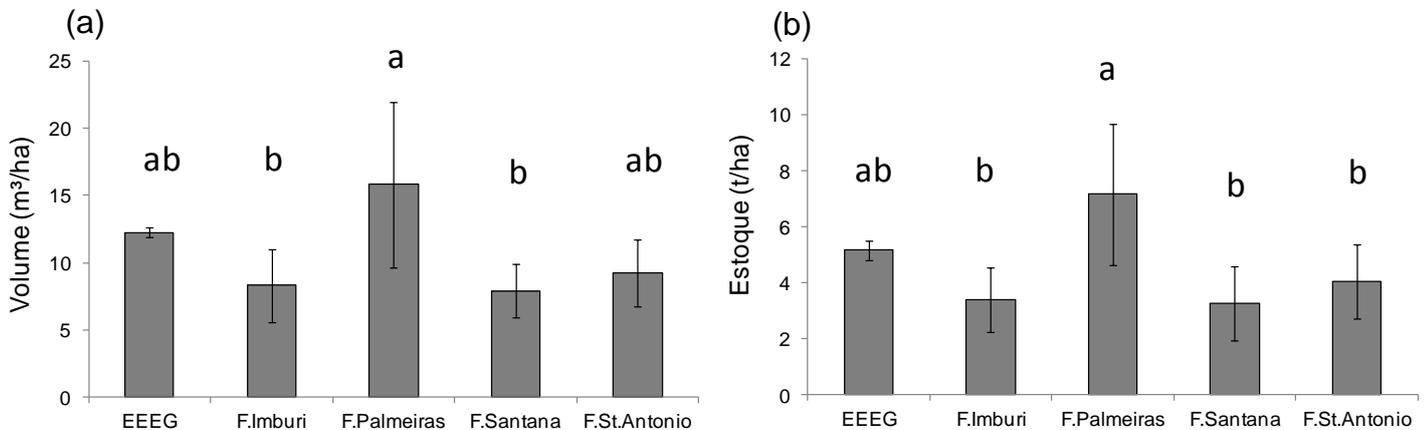
**Figura 18.** Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa em áreas de borda e interior, por grau de decomposição (1, entre 0 e 10%; 2, entre 10 e 30%; 3, > 30%), de fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ.



**Figura 19.** Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa em áreas de borda e interior, por classe de tamanho (M= entre 2,0 e 9,9 cm; G= maior que 10cm), de fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ.

Como não foi encontrada diferença entre as áreas de borda e interior dos fragmentos para a necromassa grossa, foi realizada uma análise de variância entre os fragmentos, considerando os quatro transectos como unidade amostral. A análise de variância mostrou diferenças significativas para as médias de volume (figura 20a, apêndice 11) e estoque (figura 20b, apêndice 12) de necromassa grossa. O teste de comparações múltiplas para o volume (figura 20a) e o estoque (figura 20b) mostrou

que o fragmento Fazenda Palmeiras se diferenciou dos demais, por possuir maior volume e estoque de necromassa grossa, com exceção do fragmento EEG.



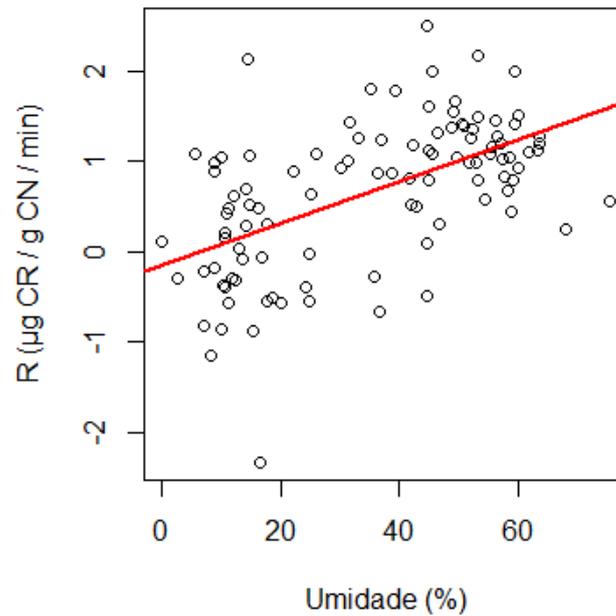
**Figura 20.** Volume (a) e estoque (b) da necromassa grossa por fragmentos de floresta atlântica estacional semidecidual no Norte Fluminense, RJ. Letras diferentes indicam diferença significativa entre fragmentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 6.3 Respiração Heterotrófica da Necromassa Fina

#### 6.3.1 Relação Respiração Heterotrófica X Umidade

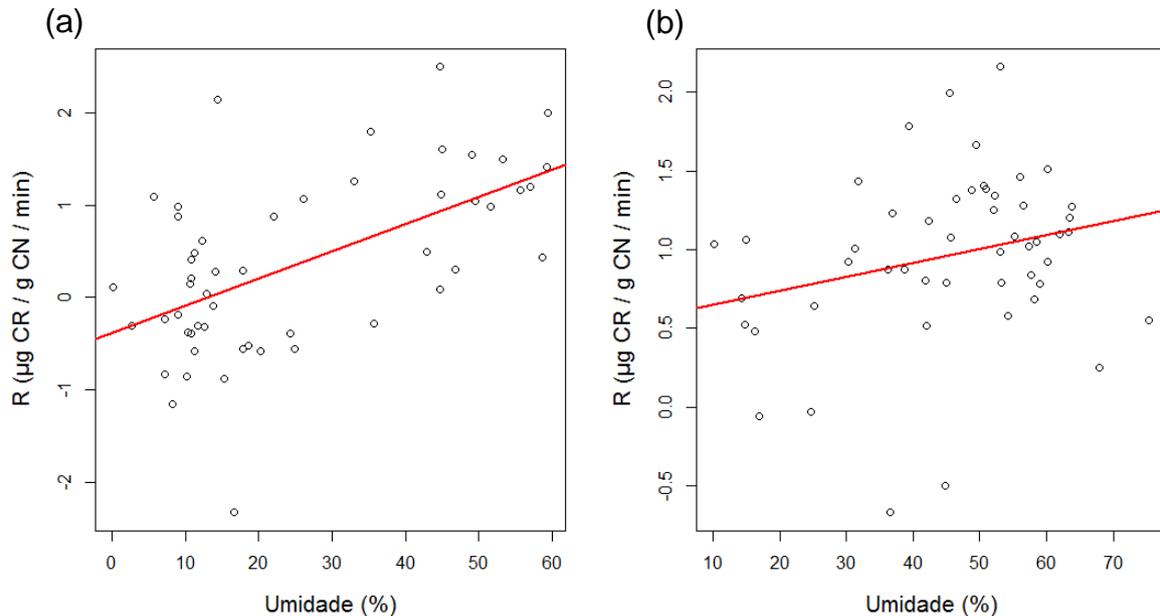
Um total de 120 amostras de necromassa fina foram coletadas para este experimento, mas devido a erros nas medições, os resultados quanto a respiração só foram considerados em 102 destas. Os menores e maiores valores encontrados para a respiração heterotrófica da necromassa fina foram de 0,097 e 12,139  $\mu\text{g C}_R / \text{g C}_N / \text{min}$  (onde  $C_R$  é o carbono respirado e  $C_N$  é a massa de C da necromassa seca), respectivamente.

Os valores da variável respiração foram transformados (logaritmo natural) o que aumentou significativamente a homocedasticidade dos resíduos. A respiração foi positivamente relacionada com a umidade da camada de necromassa fina (figura 21), embora esta seja uma relação fraca ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,30$ ).



**Figura 21.** Relação da respiração heterotrófica (R) da necromassa fina com a umidade desta em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressão linear entre respiração e umidade da necromassa fina ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,30$ ).

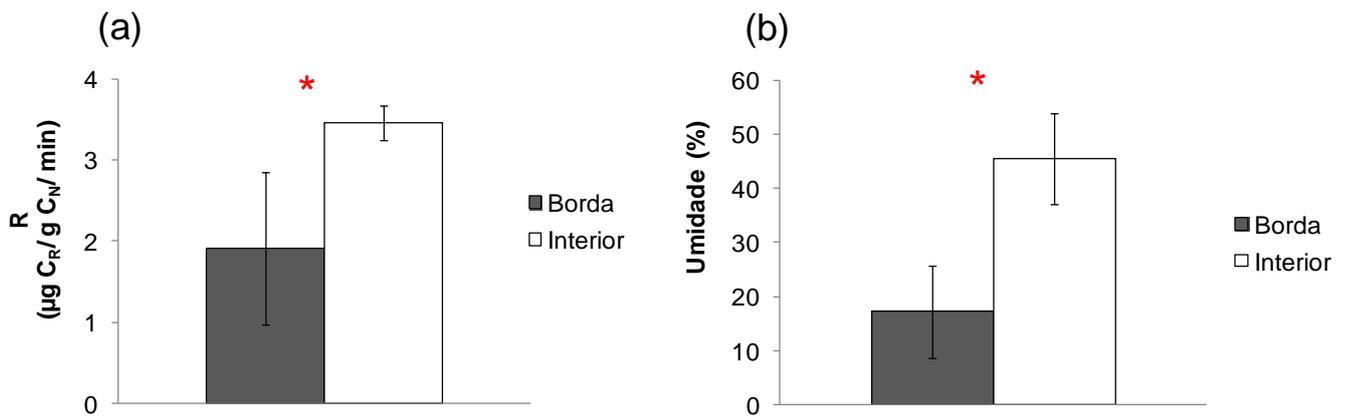
Quando analisados por área (borda ou interior), percebe-se que a respiração possui uma relação positiva mais fortemente relacionada com a umidade em áreas de borda ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,32$ ) do que no interior dos fragmentos ( $p = 0,07$ ,  $R^2 = 0,07$ ; figura 22).



**Figura 22.** Relações da respiração heterotrófica ( $R$ ) da necromassa fina com a umidade desta em áreas de borda (a) e interior (b) em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressões lineares entre respiração da necromassa e: (a) Umidade da necromassa fina na borda ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,32$ ); (b) Umidade da necromassa fina no interior ( $p = 0,07$ ,  $R^2 = 0,07$ );

### 6.3.2 Borda x Interior

A respiração média, para o período estudado, nas áreas de borda dos fragmentos foi de  $1,91 \pm 0,93 \mu\text{g } C_R / \text{g } C_N / \text{min}$ . Já o interior dos fragmentos apresentou respiração heterotrófica média significativamente maior que na borda, com valor de  $3,46 \pm 0,21 \mu\text{g } C_R / \text{g } C_N / \text{min}$ . Destaca-se também a maior variação na respiração nas áreas de borda, onde ainda assim foi significativamente menor (figura 23a, apêndice 13). A umidade da camada de necromassa fina também foi significativamente menor nas áreas de borda ( $17,25 \pm 8,51 \%$ ), quando comparado ao interior dos fragmentos ( $45,48 \pm 8,45 \%$ ) (figura 23b, apêndice 13).



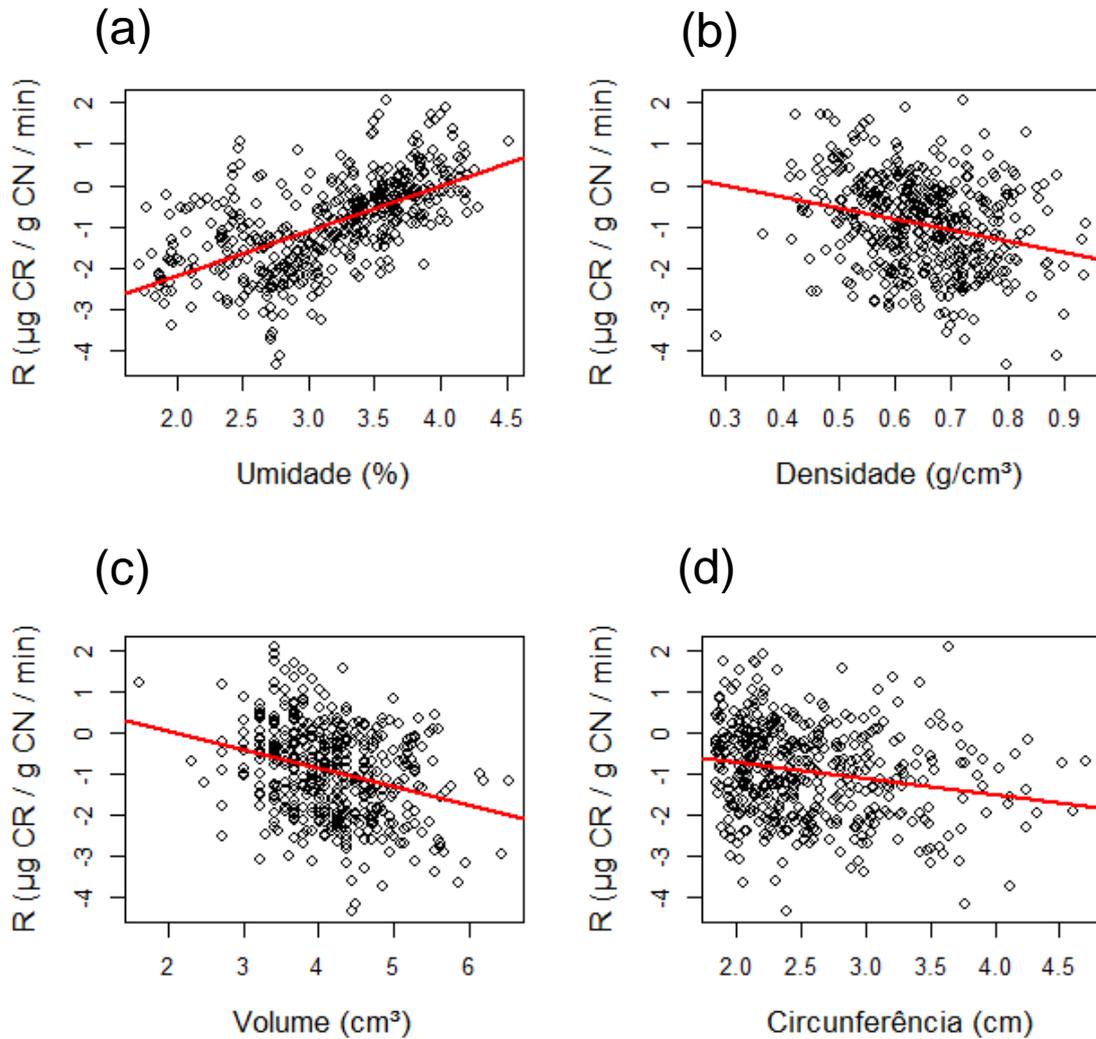
**Figura 23.** Respiração heterotrófica (a) e umidade (b) da camada de necromassa fina sobre o solo em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).

## 6.4 Respiração Heterotrófica da Necromassa Grossa

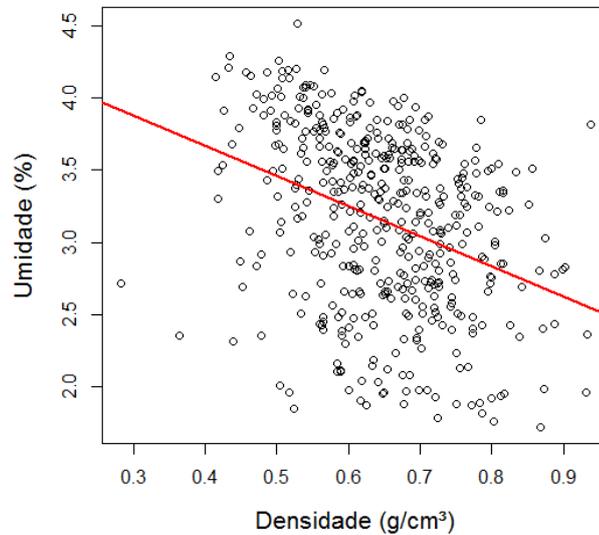
### 6.4.1 Relações Respiração Heterotrófica X Variáveis

As medidas de respiração heterotrófica a partir da necromassa grossa foram realizadas nas mesmas amostras coletadas para as estimativas de densidade e correção do volume sólido para o estoque, em um total de 469 amostras. Entretanto, 17 amostras apresentaram problemas na mensuração do fluxo de  $\text{CO}_2$  e foram excluídas desta parte da análise, restando 452 amostras.

As taxas de respiração heterotrófica a partir da necromassa grossa apresentaram um grande desvio da normalidade, mas o ajuste dos dados pela transformação logarítmica aumentou a probabilidade de uma distribuição normal. Para a necromassa grossa, a respiração variou de 0,013 a 7,903  $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ , e apresentou relação positiva com o teor de umidade do material ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,37$ , figura 24a). As outras variáveis estudadas apresentaram uma fraca relação negativa com a respiração da necromassa grossa (figura 24). A regressão demonstrou uma relação negativa da umidade da necromassa com a sua densidade ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,13$ ; figura 25).

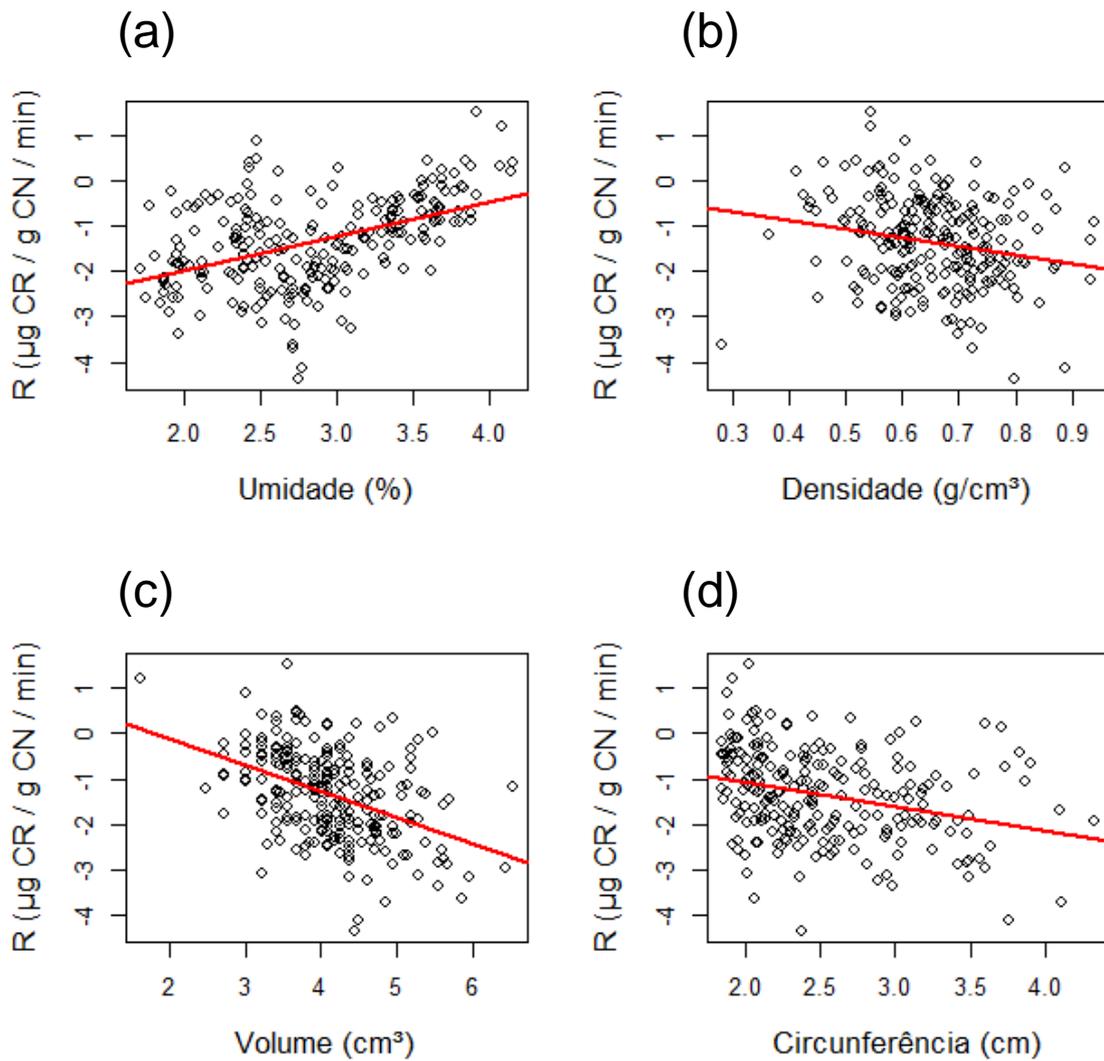


**Figura 24.** Relações da respiração heterotrófica e demais variáveis da necromassa em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressões lineares entre fluxo de carbono da necromassa e: (a) Umidade da necromassa ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,37$ ); (b) Densidade da necromassa ( $p < 0,001$ ,  $R^2 = 0,068$ ); (c) Volume do material ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,085$ ); (d) Circunferência ( $p < 0,001$ ,  $R^2 = 0,041$ ).

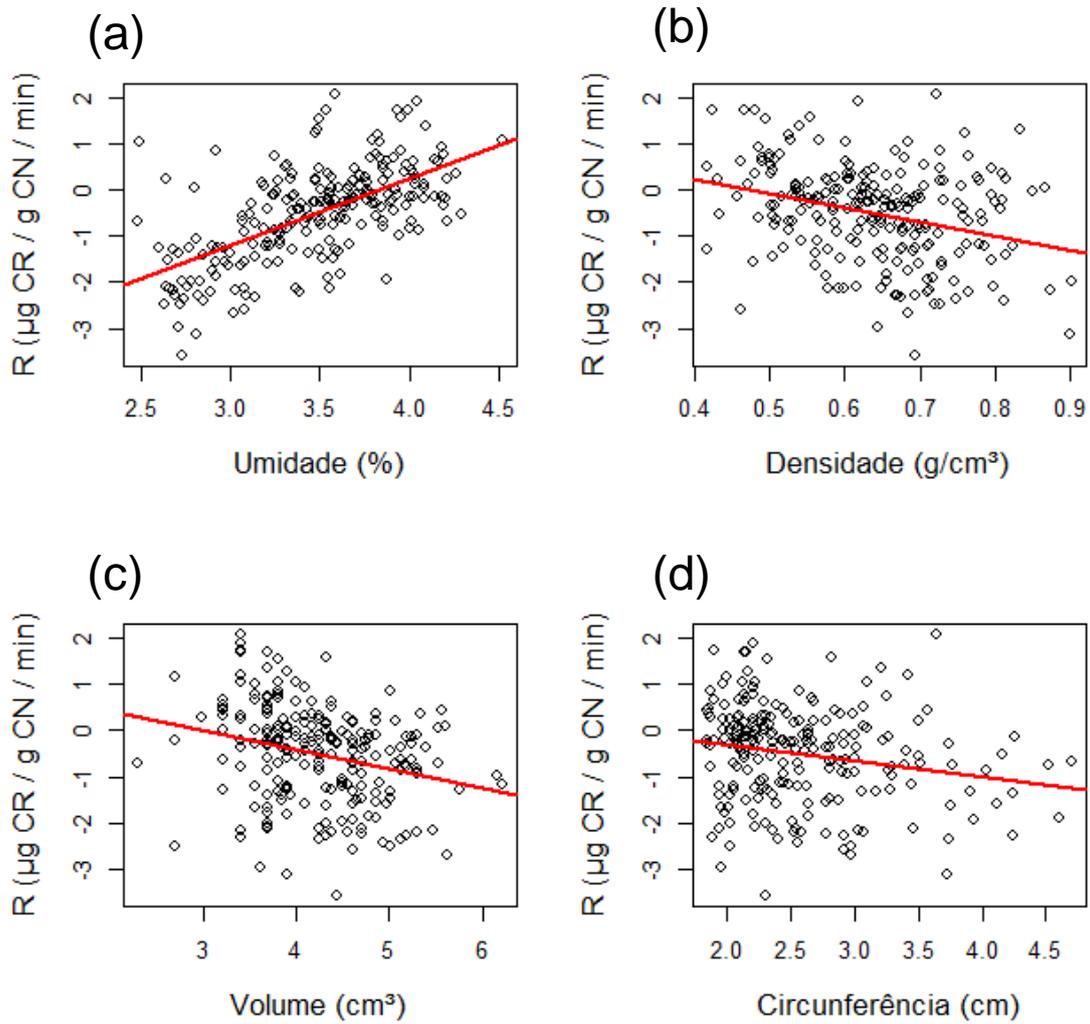


**Figura 25.** Relação da umidade (%) com a densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) da necromassa grossa em cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,13$ ).

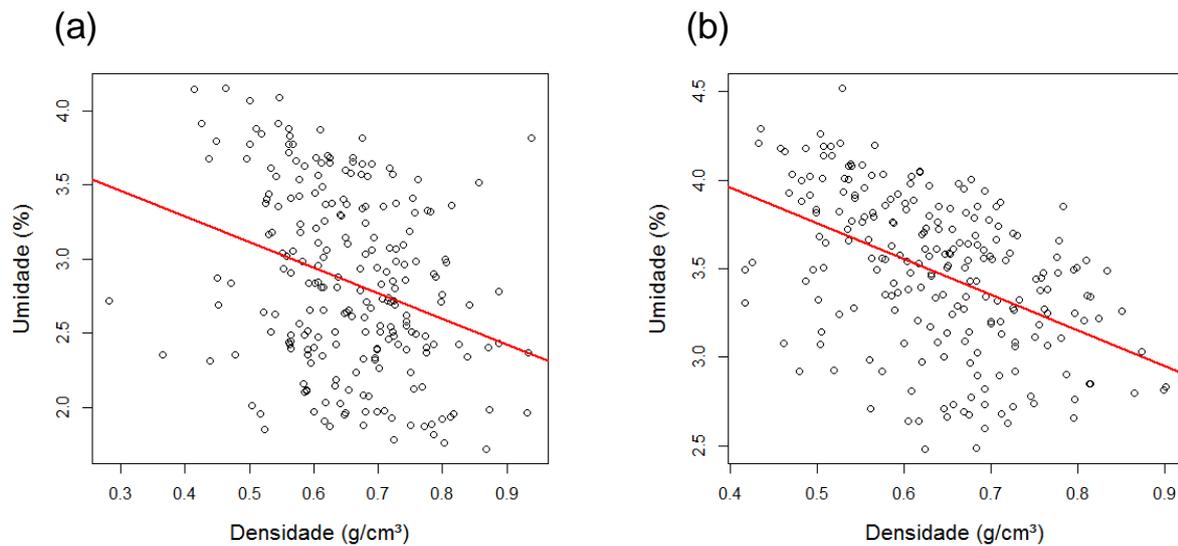
Ao analisar a relação das variáveis nas áreas de borda e interior dos fragmentos isoladamente, percebe-se que a respiração responde positivamente a um aumento no teor de umidade da necromassa grossa tanto na borda ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,21$  ; figura 26a) como no interior ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,38$  ; figura 27a) destes fragmentos. As outras variáveis, densidade da necromassa, volume do material que teve o fluxo de  $\text{CO}_2$  mensurado e a circunferência do mesmo apresentaram uma relação negativa fraca com a respiração heterotrófica da necromassa grossa (figuras 26 e 27). Destaca-se a relação negativa da respiração com o volume da fração de necromassa nas áreas de borda ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,19$ , figura 26c). A força da regressão entre a umidade da necromassa grossa e a densidade desta foi maior no interior dos fragmentos ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,22$  ; figura 28b) do que na borda ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,09$  ; figura 28a), mostrando uma relação negativa entre estas variáveis.



**Figura 26.** Relações da respiração heterotrófica e demais variáveis da necromassa em áreas de borda de cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressões lineares entre fluxo de carbono da necromassa e: (a) Umidade da necromassa ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,21$ ); (b) Densidade da necromassa ( $p = 0,002$ ,  $R^2 = 0,04$ ); (c) Volume do material ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,19$ ); (d) Circunferência ( $p < 0,001$ ,  $R^2 = 0,09$ ).



**Figura 27.** Relações da respiração heterotrófica e demais variáveis da necromassa em áreas de interior de cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Regressões lineares entre fluxo de carbono da necromassa e: (a) Umidade da necromassa ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,38$ ); (b) Densidade da necromassa ( $p < 0,001$ ,  $R^2 = 0,09$ ); (c) Volume do material ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,07$ ); (d) Circunferência ( $p = 0,002$ ,  $R^2 = 0,04$ ).

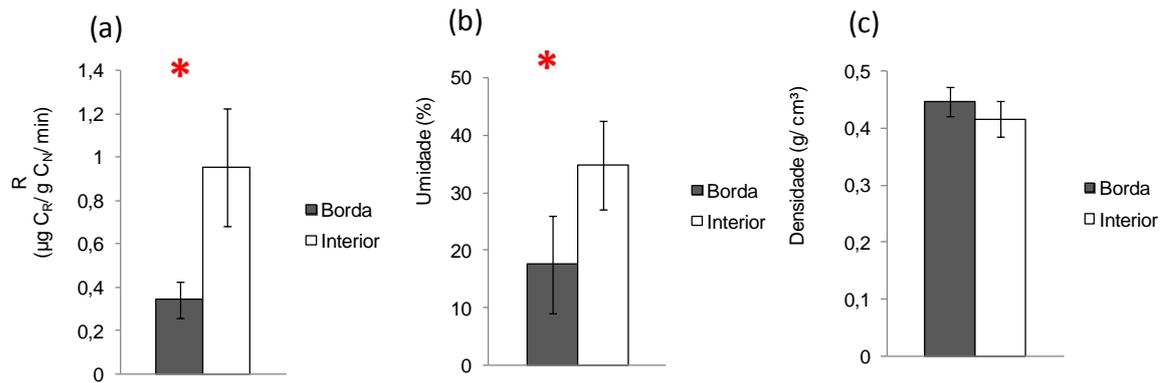


**Figura 28.** Relação da umidade (%) com a densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) da necromassa em áreas de borda (a) e interior (b) de cinco fragmentos de floresta estacional semidecidual do norte fluminense. Borda ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,09$ ); Interior ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,22$ ).

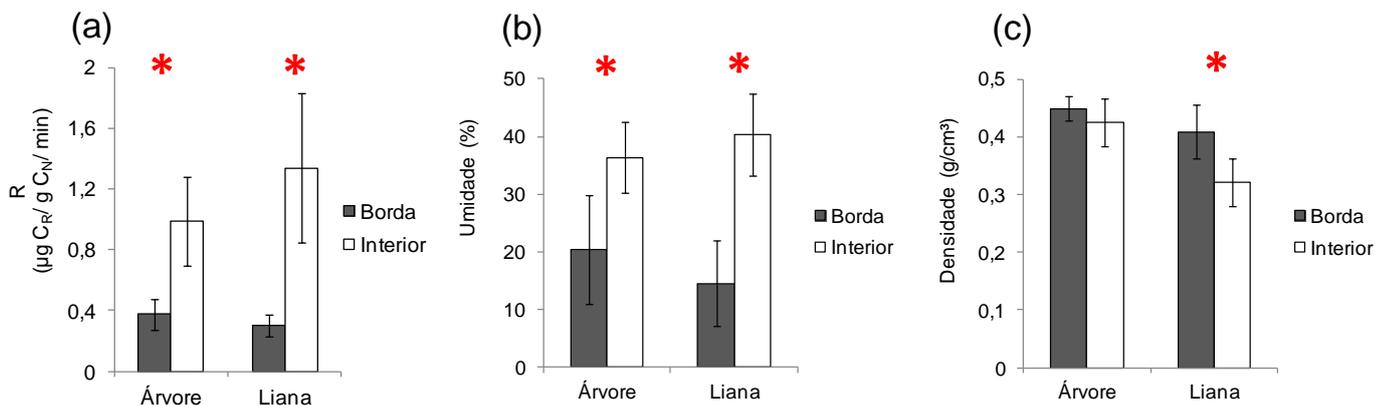
#### 6.4.2 Borda x Interior

A respiração heterotrófica total da necromassa grossa foi significativamente maior no interior dos fragmentos, bem como a umidade do material (figura 29 a e b; apêndice 15). A média da respiração na área de borda foi de  $0,34 \pm 0,08 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ , e no interior de  $0,95 \pm 0,27 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ . A umidade média foi de  $17,54 \pm 8,47\%$  nas áreas de borda e  $34,81 \pm 7,71\%$  no interior dos fragmentos. A densidade da necromassa grossa não se diferenciou entre as áreas (figura 29c; apêndice 14).

A respiração heterotrófica da necromassa grossa de “árvores” e “lianas” foi significativamente maior no interior dos fragmentos do que na borda (figura 30a; apêndice 15), assim com a umidade da necromassa (figura 30b; apêndice 15). Somente as “lianas” apresentaram diferença significativa para a densidade da necromassa grossa, sendo maior na borda do que no interior (figura 30c; apêndice 15).

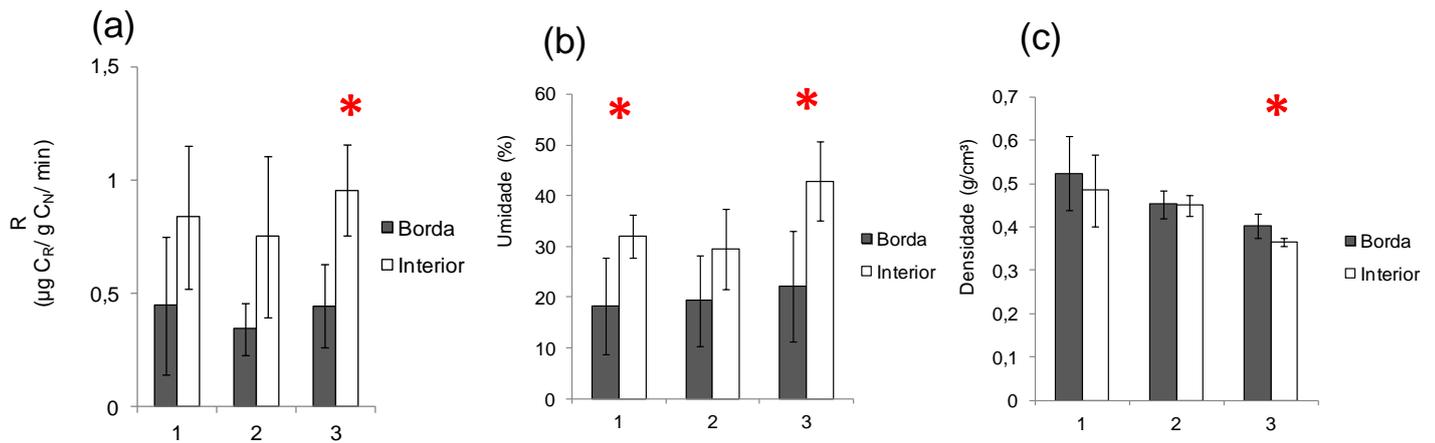


**Figura 29.** Respiração heterotrófica (a), umidade (b) e densidade (c) da necromassa grossa em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).



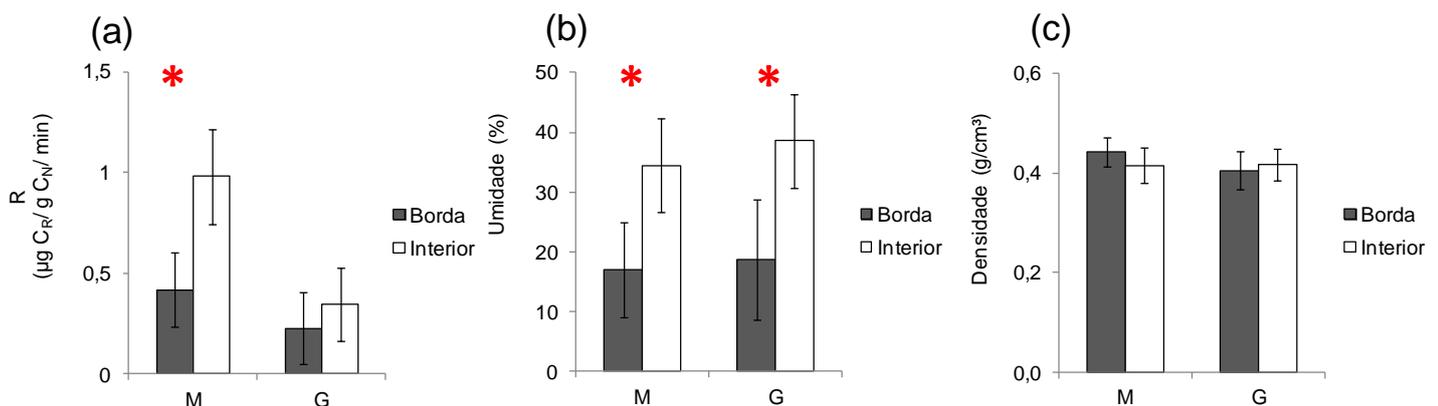
**Figura 30.** Respiração heterotrófica (a), umidade (b) e densidade (c) da necromassa grossa, por grupos funcionais (árvores e lianas), em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).

Quanto à respiração heterotrófica nos diferentes graus de decomposição, houve grande variabilidade nos resultados e com isso, somente a necromassa grossa em estágio mais avançado de decomposição (grau “3”) apresentou diferença significativa, apresentando maior fluxo no interior dos fragmentos (figura 31a; apêndice 16). A densidade desta mesma classe de decomposição foi significativamente maior nas áreas de borda dos fragmentos (figura 31c; apêndice 16). A umidade da necromassa grossa acompanhou o mesmo padrão da respiração, sendo maior no interior para os indivíduos em estágio de decomposição “1” e “3” (figura 31b; apêndice 16).



**Figura 31.** Respiração heterotrófica (a), umidade (b) e densidade (c) da necromassa grossa, por graus de decomposição (1, 2 e 3), em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).

Para as classes de tamanho da necromassa grossa, a classe intermediária “M” (entre 2 e 9,9 cm de diâmetro) apresentou respiração heterotrófica e umidade significativamente maiores nas áreas de interior dos fragmentos (figura 32 a e b; apêndice 17). A classe de tamanho “G” da necromassa grossa apenas apresentou diferença significativa na umidade, que foi maior no interior dos fragmentos (figura 32b; apêndice 17).



**Figura 32.** Respiração heterotrófica (a), umidade (b) e densidade (c), da necromassa grossa, por classes de tamanho (M e G), em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Diferença significativa para as variáveis medidas entre borda e interior ( $p < 0,05$ , t de Student).

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1 Necromassa e Respiração Heterotrófica em Florestas Tropicais

A tabela 4 apresenta os valores de estoque de necromassa fina encontrados neste estudo e em outros estudos em diferentes tipos florestais.

**Tabela 4.** Comparação dos valores de estoque de necromassa fina (t/ha) em diferentes tipos florestais. (\*) Valores apresentados por Vieira et al., 2011, referentes ao estoque de Carbono na necromassa fina.

Tipo de Floresta	Local	Necromassa Fina (t/ha)	Referência
Floresta Estacional Semidecidual de Tabuleiro	Borda	6,94	Este Estudo
	Interior	6,20	Este Estudo
Floresta Estacional Semidecidual de Tabuleiro	São Francisco de Itabapoana, RJ (Mata do Carvão)	Fim da estação chuvosa	8,40
		Fim da estação seca	12,00
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Cachoeiro de Itapemirim, ES	5,5	Godinho, 2011
Floresta Estacional Semidecidual	Viçosa, MG	Floresta Inicial	4,6
		Floresta Madura	7,7
Floresta Ombrófila Densa	Borda	3,2 - 5,6	Procópio-de-Oliveira et al., 2008
	Interior	3,3 - 5,3	
Floresta Ombrófila Submontana	Desengano, RJ	6,1	Mazurec, 1998
Floresta Ombrófila Montana	Desengano, RJ	7,4	Mazurec, 1998
Floresta Ombrófila Densa	Parque E. da Serra do Mar, SP	de Terras Baixas	4,00
		Submontana	3,54
		Montana	2,64
Cerrado	Nova Xavantina, MT	6,7	Brasil et al., 2013
Floresta de Restinga	Ilha-do-Mel, PR	5,5	Pires et al., 2006

Os valores encontrados para o estoque de necromassa fina sobre o solo foram similares aos apresentados por outros estudos em ambientes tropicais. Godinho (2011) estudando uma floresta estacional semidecidual no sul do estado do Espírito Santo encontrou uma média de 5,5 t/ha para a camada de necromassa fina acumulada sobre o solo, valor este bem próximo do encontrado neste estudo, que variou entre 6,94 t/ha nas áreas de borda e 6,20 t/ha nas áreas de interior dos fragmentos. Para outras formações florestais os valores também foram próximos aos encontrados neste estudo conforme a tabela 4.

A composição das frações folhas e galhos da camada de necromassa fina obtidas no presente estudo, foram parecidos com a descrita por Mazurec (1998) e Procópio de Oliveira *et al.* (2008) com a fração de folhas representando metade do total. Gama (2005) descreveu a fração galhos como a mais representativa (42-46%) em áreas de floresta ombrófila da Mata Atlântica do Rio de Janeiro, padrão normalmente encontrado para o estoque de necromassa fina. Entretanto, alguns estudos destacam a maior participação das folhas na composição do estoque de necromassa chegando a alguns ambientes a 80% do total da necromassa fina (Pires *et al.*, 2006; Brasil *et al.*, 2013).

Quando analisado por fragmento, o estoque de necromassa fina também apresentou valores similares aos encontrados em outros ambientes. Destaca-se, no entanto, o valor encontrado para a EEEG, inferior a estudos anteriores realizados na região. Gama (1997) estudando o efeito do corte seletivo sobre o estoque de necromassa fina encontrou valores próximos a 8,4 t/ha para áreas preservadas deste mesmo fragmento no final da estação chuvosa, chegando a 12 t/ha no final da estação seca, quando a produção é maior (Villela *et al.*, 1998). O estoque em EEEG também foi o menor entre os fragmentos estudados neste trabalho. Isto ocorreu provavelmente, devido à diferença no período de coleta do material. As amostras de necromassa fina da EEEG foram coletadas no final da estação chuvosa (março de 2013) enquanto as demais foram coletadas no início e meio da estação chuvosa (outubro de 2012 a janeiro de 2013). Portanto, é possível que tenha havido uma acelerada decomposição da necromassa durante esse período na estação chuvosa, que pode ter ocasionado a redução no estoque da necromassa no final da estação chuvosa na EEEG. O processo de decomposição da matéria orgânica é bastante

influenciado pela sazonalidade do clima (Saiter *et al.*, 2009), principalmente em florestas estacionais, que possuem uma estação seca bem definida e bastante evidenciada pela produção e acúmulo da necromassa fina que é rapidamente degradada durante a estação chuvosa, em condições mais propícias a atividade dos decompositores (Swift & Anderson, 1989; Aerts 1997). Aragão (2000), estudando a decomposição de folhas *M. brevifolia* na Mata do Carvão, observou que aproximadamente 30% do material são decompostos nos primeiros trinta e cinco dias de experimento, iniciado na estação chuvosa, o que justifica a nossa suposição de perda de massa neste período.

Poucos estudos foram realizados com o objetivo de estimar o estoque de necromassa grossa em áreas de Mata Atlântica. Os valores de estoques encontrados neste estudo são similares aos encontrados por Luccas (2011) para floresta ombrófila densa no estado de São Paulo, variando de 2,66 t/ha a 3,44 t/ha, e para áreas de cerrado no mesmo estado, variando de 2,82 t/ha a 4,89 t/ha. Entretanto, Vieira *et al.* (2011) encontraram valores bem mais elevados para o estoque de necromassa grossa, com o estoque de carbono desta variando entre cerca de 9 e 17 t/ha, em áreas de floresta ombrófila densa de altitude na região da Serra do Mar, bastante superiores aos encontrados neste estudo para as florestas estacionais do norte fluminense. A tabela 5 apresenta os valores de volume e estoque de necromassa grossa encontrados neste estudo e em outros para diferentes tipos florestais.

**Tabela 5.** Comparação dos valores de volume (m<sup>3</sup>/ha) e estoque de necromassa grossa (t/ha) em diferentes tipos florestais. (\*) Valores apresentados por Vieira et al., (2011), referentes ao estoque de Carbono na necromassa grossa. (\*\*) Valores apresentados por Rice et al., (2011), referentes ao estoque de Carbono na necromassa grossa caída sobre o solo e árvores mortas em pé.

Tipo de Floresta	Local	Estoque Necromassa Grossa (t/ha)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Referência
Floresta Estacional Semidecidual de Tabuleiro				
	São Francisco de Borda	4,62	10,11	Este Estudo
	Itabapoana, RJ Interior	4,62	11,33	Este Estudo
Floresta Ombrófila Densa				
	de Terras Baixas	9,95	-	Vieira et al., 2011 *
	Submontana	9,33	-	
	Montana	16,85	-	
Floresta Ombrófila Densa	Parque E. da Serra do	2,66 - 3,44	-	Luccas, 2011
Cerrado	Santa Rita do Passa	2,82 - 4,89	-	Luccas, 2011
Floresta Ombrófila Densa	Moju, PA	-	82,84	Cruz-Filho e Silva, 2009
Floresta Ombrófila Densa	Paragominas, PA	55,2	109	Keller et al., 2004
	Santarém, PA	50,7	108	
Floresta Ombrófila Densa	Santarém, PA	48	152	Rice et al., 2004**
Floresta Ombrófila Aberta	Juruena, MT	33,7	107	Pauletto, 2006
Floresta Ombrófila	Juruena, MT	44,9	90,6	Palace et al., 2007
Floresta Ombrófila Densa	Madre de Dios, Peru	24,4	62,3	Baker et al., 2007
Floresta Ombrófila Densa	La Selva, Costa Rica	46	109	Clark et al., 2002

Quando comparados a região amazônica, onde a necromassa grossa tem sido mais estudada, os valores encontrados para o volume (6,12 a 16,98 m<sup>3</sup>/ha) e o estoque (2,55 a 7,71 t/ha) de necromassa grossa no presente estudo são, em geral, inferiores, bem como em outras áreas de Mata Atlântica (tabela 5). Cruz-Filho e Silva (2009) encontraram volumes de necromassa grossa em áreas de floresta ombrófila densa sem exploração de madeira na Amazônia Oriental, variando de 77,43 a 88,25 m<sup>3</sup>/ha. Valores próximos aos encontrados por Keller et al. (2004), que variaram de

103 a 146 m<sup>3</sup>/ha. Pauletto (2006) encontrou um volume médio de necromassa grossa de 107 m<sup>3</sup>/ha em Floresta Ombrófila Aberta na região do estado do Mato Grosso. Em floresta tropical com gradiente topográfico, na Estação Ecológica La Selva, na Costa Rica, Clark *et al.* (2002) encontraram valores que variavam de 91,1 a 108,6 m<sup>3</sup>/ha de necromassa grossa.

Palace *et al.* (2007) estudando a influência da exploração madeireira seletiva na região amazônica de Juruena, Mato Grosso, encontraram valores de 44,9 a 67,0 t/ha para o estoque de necromassa grossa, chegando a 26% do total do estoque de biomassa viva e morta acima do solo. Baker *et al.* (2007) comparando as metodologias do LIS e por amostragem direta por parcela para quantificar o estoque de necromassa grossa, na região amazônica do Peru, encontraram valores entre 17 e 24 t/ha, e não houve diferença entre os métodos. Keller *et al.* (2004) encontrou valores bastante elevados para o estoque de necromassa grossa, chegando a cerca de 120 t/ha em áreas com registro de exploração de madeira convencional.

Estima-se que a biomassa viva para a EEEG, principal remanescente de floresta estacional semidecidual no norte fluminense, seja cerca de 145 t/ha (Dora Villela, comunicação pessoal). Nestes termos, a necromassa na mata do Carvão parece compor cerca de 7% da biomassa total acima do solo. A necromassa fina contribui com aproximadamente 43% e a necromassa grossa com 57% da necromassa total. A contribuição da necromassa para a biomassa total acima do solo foi um pouco menor do que o encontrado para uma floresta ombrófila densa da Mata Atlântica em São Paulo (tabelas 4 e 5). Vieira *et al.* (2011), encontraram valores para o estoque de carbono na biomassa viva acima do solo variando entre 94 e 127 t/ha. Já a contribuição da necromassa total acima do solo esteve entre 10 e 13% do total de carbono estocado acima do solo, com a necromassa grossa representando 70% da necromassa total.

Malhi *et al.* (2006) reportaram valores de estoque de biomassa viva em diferentes regiões da floresta amazônica variando de 200 até 350 t/ha. Quando comparados os valores, a necromassa grossa (Tabela 5; Keller *et al.*, 2004; Pauletto, 2006; Palace *et al.*, 2007; Cruz-Filho e Silva, 2009) se torna bastante expressiva como reservatório de carbono para a região amazônica. Isto demonstra a

importância da necromassa grossa nestas áreas, onde podem representar de 19% a 26% do estoque de carbono acima do solo (Keller *et al.*, 2004; Palace *et al.*, 2007). Rice *et al.*, 2004 demonstraram que a necromassa grossa pode corresponder a 25 % da biomassa total acima do solo em áreas de floresta ombrófila densa na Amazônia e Clark *et al.*, (2002) encontraram uma contribuição de cerca de 30% da necromassa grossa para o total da biomassa acima do solo e áreas de floresta tropical da Costa Rica.

Rolim *et al.* (2005), em trabalho de longa duração, em um importante remanescente de floresta atlântica, Reserva Vale do Rio Doce, no estado do Espírito Santo, com uma mata semidecídua e próxima aos fragmentos alvos deste estudo, estimaram uma média de 335 t/ha de biomassa viva para o fragmento. Esse valor é comparável a outros tipos florestais tropicais de regiões com maior precipitação, como na região amazônica. Cunha *et al.* (2009) estimou uma biomassa arbórea viva de 158 t/ha para fragmentos de floresta ombrófila densa montana e Lima *et al.* (2008) encontraram um valor de 166 t/ha para a biomassa arbórea de matas de baixada da mesma fitofisionomia em remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro. Todos estes valores estão próximos aos geralmente reportados para a Mata Atlântica. Entretanto, ainda há pouca disponibilidade de estimativas do estoque de necromassa para a Mata Atlântica, quando comparado a estudos que abordam a biomassa viva.

Poucos trabalhos buscaram quantificar a participação da necromassa fina quanto à respiração heterotrófica pelo processo de decomposição, no balanço de C em ecossistemas florestais (Bowden *et al.*, 1993; Sulzman *et al.*, 2005; Jomura *et al.*, 2012). Para ecossistemas florestais tropicais, os estudos se concentram na região Amazônica (Sampaio, 1993; Toledo, 2002). A respiração heterotrófica da necromassa fina está geralmente inserida na respiração total do solo, na maioria dos estudos, e por isso se tem quantificado a sua contribuição na respiração total do ecossistema (Chambers *et al.*, 2004; Jomura *et al.*, 2012). Entretanto, é importante a mensuração deste compartimento em separado, visto a distinção quanto ao processo de decomposição a que este está sujeito. Em estudo em uma floresta tropical úmida no estado de Pernambuco, Sampaio *et al.* (1993) estimaram em 1,57  $\mu\text{g CR/g CN/ min}$  a respiração da fração foliar na necromassa fina. Toledo (2002)

estimou em cerca de  $24 \mu\text{g C/m}^2/\text{s}$  ( $2\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) a respiração da necromassa fina para a região de floresta tropical de terra-firme da Amazônia Central, sendo este por unidade de área. No presente estudo, foi encontrado o valor de  $3,46 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ , estimativa feita pela massa da necromassa fina. Para a necromassa grossa em florestas tropicais, a maioria dos trabalhos quanto ao fluxo de  $\text{CO}_2$  (respiração heterotrófica) proveniente da decomposição foram realizados na região amazônica. Chambers *et al.*, (2001b) encontraram uma variação na respiração da necromassa grossa de  $0,014$  a  $1,003 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$  em áreas de floresta da Amazônia Central, valores próximos aos encontrados neste estudo para as florestas estacionais do norte fluminense. Gurdak *et al.*, (2013) analisando a influência do gradiente topográfico no estoque e respiração heterotrófica da necromassa grossa na região amazônica do Peru, encontraram valores que chegavam a  $3,42 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ . Chen *et al.*, (2000) estimou entre  $0,11$  e  $0,28 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$  a respiração proveniente da decomposição de raízes grossas mortas de cinco espécies de florestas temperadas.

Destaca-se também a diferença entre a respiração heterotrófica da necromassa fina e a necromassa grossa. Para a necromassa fina, as médias da respiração foram  $1,91 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$  para a borda e  $3,46 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$  no interior, com algumas amostras chegando a valores de  $12 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ , enquanto para a necromassa grossa foram encontrados valores médios inferiores de  $0,34$  e  $0,95 \mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$  para a borda e interior, respectivamente. Tais variações são esperadas, já que a necromassa fina, composta principalmente de folhas, possui altas taxas de decomposição, com uma menor razão C/N, sendo um substrato menos resistente para a ação dos decompositores (Vitousek & Sanford, 1986; Swift & Anderson, 1989; Aerts, 1997). A necromassa grossa, por possuir grande quantidade de carbono e alta razão C/N, possui baixas taxas de decomposição, com um longo tempo de residência no ambiente, que em florestas tropicais pode ser superior a 5 anos (Chambers *et al.*, 2000).

## 7.2 Controles da Respiração Heterotrófica

Este estudo demonstrou que a umidade é um dos principais fatores que regulam a liberação do CO<sub>2</sub> para a atmosfera, indicando influenciar a atividade de decomposição da necromassa. Variáveis climáticas como precipitação e temperatura, qualidade do substrato disponível para decomposição e a comunidade de organismos decompositores são os principais fatores reguladores do processo de decomposição da matéria orgânica (Vitousek e Sanford, 1986; Swift e Anderson, 1989; Villela e Proctor, 2002; Vasconcelos e Laurance, 2005).

A umidade do material apresentou uma correlação positiva com a respiração heterotrófica em todas as análises (necromassa fina e necromassa grossa). Para a necromassa fina, a respiração heterotrófica se correlacionou com a umidade, tal com encontrado por Toledo (2002) em áreas de floresta de terra firme da Região Amazônica. A autora encontrou uma forte relação entre a umidade da necromassa e a respiração ( $r^2=0,71$ ), concluindo que o aumento na atividade de respiração heterotrófica está diretamente relacionado ao aumento na umidade, embora tenha sido observado um limite máximo no nível de umidade, no qual a respiração não mais responde a suas variações. Entretanto, no presente estudo, este limite não foi observado. Isto se deve provavelmente a menor disponibilidade de água nas florestas estacionais do norte fluminense, onde a água passa a ser um fator limitante, diferente das regiões amazônicas, de clima conhecidamente mais úmido e longos períodos de precipitação.

A respiração heterotrófica da necromassa grossa também foi fortemente relacionada com a umidade da necromassa e foi o principal fator entre as variáveis medidas neste estudo, que influenciou os processos de liberação de carbono. Mesmo a densidade da necromassa grossa tendo sido apontada por Chambers *et al.* (2001b) como um fator de mesma importância ( $r^2=0,42$ ) que a umidade ( $r^2=0,39$ ), em áreas da Amazônia Central, não apresentou relação com a respiração no presente estudo. Gurdak *et al.* (2013) também encontraram forte relação da respiração com a densidade do material morto ( $r^2=0,16$ ), além da umidade do material ( $r^2=0,22$ ) e da temperatura, embora a menos relacionada ( $r^2=0,12$ ). Toledo (2002) descreveu a relação da densidade como a que melhor respondeu a variação

na respiração ( $r^2=0,41$ ) da necromassa grossa, tendo a umidade menor importância neste processo ( $r^2=0,11$ ). Estes fatos mostram que materiais mais leves e úmidos são um substrato mais propício a atividade dos decompositores.

Boddy (1983) estudando uma região de floresta temperada na Inglaterra, já demonstrava a importância da umidade nos processos de liberação de  $\text{CO}_2$  por decomposição da necromassa grossa, além do fator temperatura, que não foi abordado neste estudo, observando que um aumento nas taxas de umidade e temperatura aumentavam as taxas de liberação de  $\text{CO}_2$  da necromassa grossa. O autor também demonstrou a influência do tamanho da necromassa sobre as taxas de liberação de  $\text{CO}_2$ , cujas peças de comprimentos maiores liberavam significativamente menos  $\text{CO}_2$  que peças menores. Peças maiores possuem menor razão superfície/volume o que implica em menos área para a difusão dos gases da madeira. Tal fato pode ser observado neste estudo nas áreas de borda dos fragmentos, onde maiores volumes da peça de necromassa liberavam menos  $\text{CO}_2$  ( $r^2=0,19$ ), embora tal relação não tenha sido observada na análise geral e no interior dos fragmentos. A circunferência das peças de necromassa grossa também não apresentou relação com a respiração para EEEG.

Forrester *et al.* (2012) estudando a influência de clareiras sobre as taxas de respiração heterotrófica da necromassa grossa em uma floresta temperada nos Estados Unidos, também encontraram uma relação desta com a umidade do material ( $r^2=0,12$ ), embora a temperatura do ar ( $r^2=0,27$ ) e a temperatura do material ( $r^2=0,18$ ) estivessem mais fortemente correlacionadas. Clareiras são ambientes com microclima mais severo, com maiores temperaturas do ar e do solo, maior incidência de radiação e menor umidade do solo, diferente das áreas de sub-bosque (Whitmore, 1989). Mas estas características se assemelham com as áreas de borda das florestas, sendo possivelmente, fatores limitantes as atividades de respiração heterotrófica.

### 7.3 Efeito de Borda

Não houve diferenças entre os estoques médios de necromassa fina e grossa total e por frações, nas áreas de borda e interior dos fragmentos, não corroborando a hipótese de que os estoques seriam maiores na borda do que no interior dos fragmentos, devido ao efeito de borda, consequência da fragmentação, bastante descrito na literatura (Bierregaard *et al.*, 1992; Murcia, 1995; Kapos *et al.*, 1997; Laurance *et al.*, 2002; Laurance e Vasconcelos, 2009).

Não há um consenso quanto às respostas da comunidade sobre o efeito gerado com o surgimento das bordas em fragmentos florestais, pois estas respostas podem depender de vários fatores como o tipo fitofisionômico, o histórico de fragmentação, tamanho e forma dos fragmentos, grau de isolamento, entre outros. Alguns autores apontam que o efeito de borda pode alterar a produção e o estoque da necromassa fina. Esta pode se acumular mais nas áreas de borda, devido à maior produção de matéria orgânica morta provocada pelo estresse hídrico sofrido pelas árvores nessas áreas onde há maiores temperaturas e umidade reduzida (Didham e Lawton, 1999; Laurance *et al.*, 2002; Vasconcelos e Luizão, 2004) e as taxas de decomposição são significativamente menores (Gama, 2005). Em um estudo em floresta de terra-firme na Amazônia, Vasconcelos e Luizão (2004) encontraram maiores valores de produção total e da fração folhas da necromassa fina nas áreas de borda. Esta maior produtividade é o principal fator que leva ao acúmulo da necromassa fina sobre o solo. Entretanto, Nascimento (2005) estudando o efeito de borda em um fragmento de floresta ombrófila de Mata Atlântica encontrou menor produção de folhas na borda.

O fato de não haver diferenças entre borda e interior pode ser atribuído a grande variabilidade encontrada entre as áreas, principalmente pelo fragmento fazenda Imburi, de menor tamanho, que apresentou o maior valor de estoque de necromassa fina total no interior, bem como o fragmento EEG que teve o menor valor do estoque na área de borda. Estes fragmentos também apresentaram valores de estoque de necromassa fina total similares entre borda e interior. Aparentemente, a semelhança nos estoques de necromassa fina de borda e interior do fragmento EEG pode estar associada ao tempo de existência da borda e a menor perturbação

sofrida nos últimos anos, por esta ser uma unidade de conservação de proteção integral e contar com fiscalização mais intensa, ao contrario dos outros fragmentos. As mudanças microclimáticas devidas do efeito de borda são menos pronunciadas com o passar do tempo, ocorrendo um “efeito tampão” à medida que a vegetação se desenvolve, estabilizando a borda (Kapos *et al.*, 1997). O tamanho e o formato dos fragmentos também podem influenciar na dinâmica da comunidade, onde fragmentos menores e de formato mais irregular em geral são mais impactados, sendo muitas vezes, difícil separar os efeitos de área dos efeitos de borda (Laurance e Vasconcelos 2009)

Gama (2005) estudando o efeito de borda em fragmentos de Mata Atlântica de baixada no estado do Rio de Janeiro encontrou maiores valores do estoque total de necromassa fina na borda do que no interior na estação chuvosa. A autora atribuiu o fato ao maior estoque da fração galhos na área de borda nesta estação, já que na estação seca não houve diferença entre as áreas para o estoque total. Quanto às frações da necromassa, somente a fração folhas foi maior no interior dos fragmentos, padrão também encontrado na média anual. Brasil *et al.* (2013) também detectaram o efeito de borda sobre o estoque de necromassa fina, já nos primeiros 25m a partir da borda, cuja espessura e o estoque foram significativamente maiores no interior de um remanescente florestal na transição entre os biomas Cerrado e Floresta Amazônica. Portela e Santos (2007) não encontraram diferença tanto na produção quanto na espessura da camada de necromassa fina borda e interior de diferentes fragmentos de Mata Atlântica no estado de São Paulo. Portanto, não há um padrão consistente quanto ao efeito de borda sobre o estoque de necromassa fina em fragmentos de Mata Atlântica. Tal fato pode ser devido às variabilidades entre os fragmentos e os processos de fragmentação sofrido por estes, como comentado acima.

Estudos que quantifiquem o efeito de borda propriamente dito sobre o estoque de necromassa grossa são poucos. Nascimento e Laurance (2006) observaram um efeito significativo da distância da borda sobre o estoque de necromassa em florestas de terra-firme na Amazônia, onde áreas de borda tiveram um estoque de cerca de 40% a 60% maior que em áreas de interior. Contudo, os autores consideraram uma distância de 300m a partir da borda. Este padrão não

pode ser observado no presente estudo, o que pode estar associado ao alto grau de perturbação dos fragmentos florestais da região, com histórico recente de corte seletivo de madeira e aos efeitos decorrentes dos diferentes formatos, tamanhos e histórico sofrido por estes, podendo o efeito de borda se estender para além dos 100m estabelecidos.

O aumento da taxa de mortalidade de indivíduos arbóreos é uma das principais consequências decorrentes das mudanças microclimáticas devidas ao efeito de borda (Ferreira e Laurance, 1997; Laurance *et al.*, 2002; Laurance *et al.*, 2009). Com a exposição das bordas há o aumento da penetração de luz e vento na floresta, que resulta na elevação da temperatura do ar e aumento do déficit de pressão de vapor nas novas bordas formadas (Bierregaard *et al.*, 1992; Kapos *et al.*, 1997; Gascon *et al.*, 2001). Estas mudanças repentinas no microclima deste ambiente podem não ser toleradas por muitas espécies de árvores, que perdem suas folhas e morrem em pé (Kapos *et al.*, 1997), além da maior incidência de ventos fortes que pode levar a derrubada de inúmeras árvores (Ferreira e Laurance, 1997).

Estas mudanças de microclima nas áreas de borda também influenciaram as taxas de respiração heterotrófica da necromassa corroborando a hipótese de que o fluxo de CO<sub>2</sub> é maior no interior dos fragmentos, tanto para a necromassa fina como para a necromassa grossa. Quando analisado por área de borda e interior, foi observado que a respiração heterotrófica possui uma relação mais forte com a umidade da necromassa fina nas áreas de borda do que no interior dos fragmentos. A maior variabilidade da umidade nas áreas de borda pode explicar tal fato, sendo a disponibilidade hídrica um conhecido fator limitante nesta área (Kapos *et al.*, 1989; Didham e Lawton, 1999). Já o interior dos fragmentos, por possuir maior estabilidade (Laurance *et al.*, 2002), promove a manutenção da umidade, podendo outra variável afetar mais fortemente o processo de decomposição da necromassa. O efeito de borda provocado pela fragmentação diferencia os ambientes dentro da mata, tornando o interior um ambiente mais propício a decomposição da matéria orgânica morta (Didham, 1998; Gama, 2005)

A atividade de decomposição em ambientes florestais é regulada por vários fatores, entre os quais, a umidade e a temperatura ambiente, qualidade do substrato disponível para decomposição e a comunidade de organismos decompositores (Vitousek e Sanford, 1986; Swift e Anderson, 1989). Nas bordas, as taxas de decomposição são mais lentas, tal como encontrado em regiões de Mata Atlântica (Gama 2005), devido às maiores temperaturas e menores índices de umidade decorrentes da alta luminosidade e ventos incidentes (Bierregaard *et al.*, 1992; Kapos *et al.*, 1997; Ferreira e Laurance, 1997; Gascon *et al.*, 2001; Laurance *et al.*, 2002; Laurance *et al.*, 2009).

As florestas estacionais semidecíduais, bem como a Mata Atlântica em geral, estão entre os ambientes mais degradados pela ação humana. Sendo assim, se torna cada vez mais necessário conhecer estes ecossistemas para assim compreender seu real valor e estimular estratégias de conservação em todas as esferas da sociedade.

## 8. CONCLUSÃO

As estimativas dos estoques de necromassa fina (6,20 - 6,94 t/ha) e grossa (4,62 t/ha) para as áreas de floresta estacional semidecidual do norte fluminense estão dentro do contexto para as áreas de Mata Atlântica. Entretanto, quando comparada aos estoques da região amazônica, as estimativas de estoque de necromassa grossa são inferiores.

A respiração heterotrófica para a necromassa fina (1,91 - 3,46  $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ ) e necromassa grossa (0,34 - 0,95  $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ ), estão na faixa do reportado para outras florestas, mas há carência de estudos nesta área.

A hipótese de que os estoques de necromassa fina e grossa seriam maiores na borda do que no interior dos fragmentos foi rejeitada, pois não houve diferenças entre os mesmos.

Já a hipótese de que a respiração heterotrófica de ambas as necromassas, fina e grossa, é menor nas áreas de borda dos fragmentos foi corroborada por este estudo, encontrando valores maiores no interior dos fragmentos. A umidade da necromassa em geral foi o fator que melhor explicou às variações na respiração heterotrófica. Esta foi afetada negativamente pelo efeito de borda e consequentemente alterou a respiração heterotrófica, ocasionando menor liberação de C por este processo na borda.

Este estudo demonstrou que o efeito de borda parece afetar o funcionamento da floresta quanto à liberação de  $\text{CO}_2$  pela respiração heterotrófica da necromassa. Entretanto, não houve diferença entre os estoques entre a borda e o interior. O estoque de árvores mortas em pé é um componente importante a ser analisado, podendo aumentar o estoque total nestes fragmentos, diferenciando as áreas de borda e interior. Assim, outros estudos são necessários para entender as respostas do ambiente ao processo de fragmentação e como afetam sua produtividade e equilíbrio. Outro fator que pode explicar a não variação do estoque de necromassa entre as áreas é o fato da maior mortalidade de árvores grandes (de maior massa) no interior, que pode ter equilibrado o maior número de árvores mortas na borda, que costumam possuir menor biomassa, igualando a necromassa entre as áreas de

borda e interior dos fragmentos. Fato semelhante para a necromassa fina, pois a produção desta pode ser maior no interior do que na borda, como discutido anteriormente.

As florestas estacionais semidecíduais, bem como a Mata Atlântica em geral, estão entre os ambientes mais degradados pela ação humana. Sendo assim, se torna cada vez mais necessário conhecer estes ecossistemas para assim compreender seu real valor e estimular estratégias de conservação em todas as esferas da sociedade.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, K.M.P. (2013). *Estrutura, florística e diversidade de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual no Norte-Noroeste Fluminense*. Tese de Doutorado (Ecologia e Recursos Naturais), UENF, Campos dos Goytacazes-RJ. 187p.
- AERTS, R. (1997). Climate, Leaf Litter Chemistry and Leaf Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems: A Triangular Relationship. *Oikos*, 79:439-449.
- ARAGÃO, L.E.O.C. (2000). *Efeito de clareiras ocasionadas pelo corte seletivo na decomposição foliar e no solo de uma mata de tabuleiro no Norte Fluminense, RJ*. Dissertação de Mestrado (Biociências e Biotecnologia), UENF, Campos dos Goytacazes-RJ. 95p.
- ARCHANJO, K.M.P.A.; DAN, M.L.; NASCIMENTO, M.T. (2009). Composição Florística de fragmentos florestais da microbacia Brejo da Cobiça, São Francisco do Itabapoana, RJ. *Anais do III Congresso Latino Americano de Ecologia*. São Lourenço- MG.
- BARBOSA, R.I.; SILVA, L.F.S.G.; CAVALCANTE, C.O. (2009). *Protocolo Necromassa: Estoque e Produção de Litter Grossa*. Boa Vista, Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), Núcleo Regional de Roraima. 23p.
- BAKER, T.R.; CORONADO, E.N.H.; PHILLIPS, O.L.; MARTIN, J.; VAN DER HEIJDEN, G.M.F.; GARCIA, M.; ESPEJO, J.S. (2007). Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest. *Oecologia*, 152:495–504.
- BIERREGAARD, R.O.; LOVEJOY, T.E.; KAPOV, V.; DOS SANTOS, A.A.; HUTCHINGS, R.W. (1992). The biological dynamics of tropical rainforest fragments. *Bioscience*, 42:859-866.
- BODDY, L. (1983). Carbon dioxide release from decomposing wood: effect of water content and temperature. *Soil Biol. Biochem.* 15(5):501-510.
- BOWDEN, R.D.; NADELHOFFER, K.J.; BOONE, R.D.; MELILLO, J.M.; GARRISON J.B. (1993). Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Can. J. For. Res.*, 23:1402–1407.

- BOWYER, J.L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J.G. (2007). *Forest products and wood science: an introduction*. 5th ed. Blackwell Publishing, Iowa, 557p
- BRASIL, L.S.; GIEHL, N.F.S.; SANTOS, J.O.; SANTOS, A.O.; MARIMON, B.S.; MARIMON-JUNIOR, B.H. (2013). Efeito de borda sobre a camada de serapilheira em área de cerradão no leste de Mato Grosso. *Biotemas*, 26(3):37-47.
- BROWN, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer*. FAO Forestry Paper, v.134, 55p.
- BURGER, D.M. (2005). *Modelos alométricos para a estimativa da fitomassa de Mata Atlântica na Serra do Mar, SP*. Tese de Doutorado (Ciências/Ecologia). USP. 112p.
- CERQUEIRA, R.; BRANT, A.; NASCIMENTO, M.T.; PARDINI, R. (2003). Fragmentação: Alguns conceitos. In: RAMBALDI, DENISE. & OLIVEIRA, D.A.S. (Org.) *Fragmentação de Ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas*. MMA/SBF, Brasília.
- CHAMBERS, J.Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J.P.; FERREIRA, L.V.; MELACK, J.M. (2000). Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forest of the central Amazon. *Oecologia*, 122:380-388.
- CHAMBERS, J.Q.; HIGUCHI, N.; TRIBUZI, E.S.; TRUMBORE, S.E. (2001a). Carbon sink for a century (brief communications). *Nature*, 410:429.
- CHAMBERS, J.Q.; SCHIMEL, J.P.; NOBRE, A.D. (2001b). Respiration from coarse wood litter in central Amazon forests. *Biogeochemistry*, 52:115-131.
- CHAMBERS, J.Q.; TRIBUZI, E.S.; TOLEDO, L.C.; CRISPIM, B.F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; ARAÚJO, A.C.; KRUIJT, B.; NOBRE, A.D.; TRUMBORE, S.E. (2004). Respiration from a tropical forest ecosystem: Partitioning of sources and low carbon use efficiency. *Ecological Applications*, 14(4):S72–S88.
- CHAO, K.J.; PHILLIPS, O.L.; BAKER, T.R.; PEACOCK, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; VÁSQUEZ-MARTÍNEZ, R.; MONTEAGUDO, A.; TORRES-LEZAMA, A. (2009). After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. *Biogeosciences*, 6:1615–1626.

- CHEN H.; HARMON M.E.; GRIFFITHS, R.P.; HICKS, W. (2000). Effects of temperature and moisture on carbon respired from decomposing woody roots. *Forest Ecology and Management*, 138:51-64.
- CLARK, D.B.; CLARK, D.A.; BROWN, S.; OBERBAUER, S.; VELDKAMP, E. (2002). Stocks and flows of coarse woody debris across a tropical rain forest nutrient and topography gradient. *Forest Ecology and Management*, 164:237-248.
- COÛTEUX, M.M.; BERG, P.B.B. (1995). Litter decomposition climate and quality. *Trends in Ecology and Evolution*, 10:63-66.
- CRUZ-FILHO, D.; SILVA, J.N.M. (2009). Avaliação da quantidade de resíduos lenhosos em floresta não explorada e explorada com técnicas de redução de impactos, utilizando amostragem por linha interceptadora, no Médio Mojú, Amazônia Oriental, Brasil. *Acta Amazonica*, 39(3):527-532.
- CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; VELLOSO, A.C.X. (2009). Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1175-1185.
- DIDHAM, R.K. (1998). Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia*, 116:397-406.
- DIDHAM, R.K. & LAWTON, J.H. (1999). Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica*, 31:17-30.
- FERREIRA, L.V. & LAURANCE, W.F. (1997). Effects of forest fragmentation on mortality and damage of selected trees in central Amazonia. *Conservation Biology*, 11:797-801.
- FORRESTER, J.A.; MLADENOFF, D.J.; GOWER, S.T.; STOFFEL, J.L. (2012). Interactions of temperature and moisture with respiration from coarse woody debris in experimental forest canopy gaps. *Forest Ecology and Management*, 265:124–132
- FOX, B.J., TAYLOR, J.E., FOX, M.D.; WILLIAMS, C. (1997). Vegetation changes across edges of rainforest remnants. *Biological Conservation*, 82:1-13.

- GAMA, D.M. (1997). *Efeito do corte seletivo de madeira no estoque de serrapilheira no solo em uma mata de tabuleiro no Norte Fluminense*. Trabalho Monográfico (Bacharelado em Ciências Biológicas). UENF, Campos dos Goytacazes- RJ, 59f.
- GAMA, D.M. (2005). *Efeitos de borda sobre o solo, camada de serapilheira e decomposição foliar em um fragmento de Mata Atlântica na Reserva Biológica União, RJ*. Tese de Doutorado. (Biociências e Biotecnologia) Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes-RJ.
- GASCON, C.; LAURENCE, W.F.; LOVEJOY, T.E. (2001). Fragmentação florestal e Biodiversidade na Amazônia Central. In: GARAY, I. E. & DIAS, B. *Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais*. Ed. Vozes, Petrópolis.
- GODINHO, T.O. (2011). *Quantificação de biomassa e de nutrientes na serapilheira em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, Cachoeiro de Itapemirim, ES*. Dissertação de Mestrado (Ciências Florestais). UFES. Jerônimo Monteiro-ES, 103p
- GURDAK, D.J.; ARAGÃO, L.E.O.C.; ROZAS-DÁVILA, A.; HUASCO, W.H.; CABRERA, K.G.; DOUGHTY, C.; RIOS, W.F.; ESPEJO, J.E.S.; METCALFE, D.B.; SILMAN, M.R.; MALHI, Y. (2013). Assessing above-ground woody debris dynamics along a gradient of elevation in Amazonian cloud forests in Peru: balancing above-ground inputs and respiration outputs. *Plant Ecology and Diversity*, 7:143-160.
- HARMON, M.E.; FRANKLIN, J.F.; SWANSON, F.J.; SOLLINS, P.; GREGORY, S.V.; LATTIN, J.D.; ANDERSON, N.H.; CLINE, S.P.; AUMEN, N.G.; SEDELL, J.R.; LIENKAEMPER, G.W.; CROMACK, K.; CUMMINS, K.W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 15:133–302.
- HARMON, M.E.; SEXTON, J. (1996). Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems (US LTER Publication n. 20). US LTER Network Office, University of Washington, Seattle, WA. USA.
- IPCC 2006. (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Preparado por National Greenhouse Gas Inventories Programme, EGGLESTON

- H.S., BUENDIA L., MIWA K., NGARA T. AND TANABE K. (eds). Published: IGES, Japan.
- JOMURA, M.; KOMINAMI, Y.; ATAKA, M. (2012). Differences between coarse woody debris and leaf litter in the response of heterotrophic respiration to rainfall events. *Jap. For. Res*, 17:305–311
- KAPOS, V. (1989). Effects of insolation on the water status of Forest patches in the brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*, 5:173-185.
- KAPOS, V.; WANDELLI, E.; CAMARGO, J. L.; GANADE, G. (1997). Edge- Related Changes in Enviroment and Plant Responses Due to forest fragmentation in Central Amazonia. In: Laurence, W. F., Bierregaard-Jr R. O., (eds.). *Tropical Forest Remnants*. Chicago: Chicago University Press, p. 33-34.
- KELLER, M.; PALACE, M.; ASNER, G.P.; PEREIRA, R.; SILVA, J.N.M. (2004). Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 10(5):784-795.
- LAURANCE, W.F. (1991). Edge effects in tropical forest fragments: application of model for the design of nature reserves. *Biological Conservation*. 57:205-219.
- LAURANCE, W.F.; LOVEJOY, T.E.; VASCONCELOS, H.L.; BRUNA, E.M.; DIDHAM, R.K.; STOUFFER, P.C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R.O.; LAURANCE, S.G.; SAMPAIO, E. (2002). Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conservation Biology*, 16:605-618.
- LAURANCE, W.F.; NASCIMENTO, H.E.M.; LAURANCE, S.G.; ANDRADE, A.; RIBEIRO, J.; GIRALDO, J.P.; LOVEJOY, T.E.; CONDIT, R.; CHAVE, J.; HARMS, K.E.; D'ANGELO, S. (2006). Rapid decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103:19010-19014.
- LAURANCE, W.F.; VASCONCELOS, H.L. (2009). Conseqüências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Brasiliensis*, 13(3):434-451.
- LIMA, J.A.S.; VILLELA, D.M.; MANZATTO, C.V. (2008). Biomassa arbórea em fragmentos da mata atlântica fluminense. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Embrapa Solos*, 127p.

- LINS, B.L.A. (2007). *Fenologia de Paratecoma peroba (Record & Mell) Kuhl. (Bignoniaceae) em uma Floresta Estacional Semidecidual na Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba, RJ*. Monografia. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes- RJ, 42p.
- LUCAS, F.S. (2011). *Estoques de necromassa em um cerrado sensu stricto e uma Floresta Ombrófila Densa Montana, no estado de São Paulo*. Dissertação. Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 84p.
- LUGO, A.E.; BROWN, S. (1992). Tropical forest as sink of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*, 4:239-255.
- LUYSSAERT, S.; SCHULZE, E.D.; BÖRNER, A.; KNOHL, A.; HESSENMÖLLER, D.; LAW, B.E.; CIAIS, P.; GRACE, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455:213-215.
- MACNALLY, R., PARKINSON, A., HORROCKS, G., CONOLE, L., TZAROS, C. (2001). Relationships between terrestrial vertebrate diversity, abundance and availability of coarse wood debris on south-eastern Australian tree species. *Australian Journal Botany*, 51:27-37.
- MALHI Y. (2012). The productivity, metabolism and carbon cycle of tropical forest vegetation. *Journal of Ecology*, 100:65–75.
- MALHI Y.; GRACE J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Tree* 15:332-337.
- MALHI, Y.; WOOD, D.; BAKER, T.R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O.L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T.J.; LAURANCE, S.G.; LAURANCE, W.F.; LEWIS, S.L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D.A.; VARGAS, P.N.; PITMAN, N.C.A.; QUESADA, C.A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J.N.M.; LEZAMA, A.T.; TERBORGH, J.; MARTINEZ, R.V.; VINCETI, B. (2006). The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12:1–32.
- MARIMON-JUNIOR, B. H.; HAY, J. D. (2008). A new instrument for measurement and collection of quantitative samples of the litter layer in forests. *Forest Ecology and Management*, 255:2244–2250.

- MAZUREC, A.P. (1998). *Produção de serrapilheira e decomposição da serrapilheira em Mata Atlântica de Encosta em duas altitudes, na Serra do Imbé, Norte Fluminense, RJ*. Dissertação de Mestrado (Biotecnologia e Biociências). UENF, Campos dos Goytacazes- RJ.
- MELILLO, J.M.; MCGUIRE, A.D.; KICKLIGHTER, D.W.; MOORE B.; VOROSMARTY C.J.; SCHLOSS, A. L. (1993). Global climate-change and terrestrial net primary production. *Nature*, 363:234- 240.
- MURCIA, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 10:p.58-62.
- NASCIMENTO, A.C.P. (2005). *Produção e aporte de nutrientes da serrapilheira produzida em um fragmento de Mata Atlântica da Reserva Biológica União, RJ*. Dissertação de Mestrado (Biotecnologia e Biociências). UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.
- NASCIMENTO, M.T.; ARCHANJO, K.M.P.A. (2009). Mudanças florísticas e estruturais da comunidade arbórea de um remanescente de floresta estacional semidecidual no norte fluminense, RJ, entre 1996 – 2008. *Anais do III Congresso Latino Americano de Ecologia*. São Lourenço, MG.
- NASCIMENTO, M.T.; LIMA, H.C. (2008). Floristic and structural relationships of a tabuleiro forest in northeastern Rio de Janeiro, Brazil. Pp 395-416. *In: Thomas, W.W. (ed.). The Atlantic coastal forest of northeastern Brazil*. New York, New York Botanical Garden Press.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; CARVALHO, C. (1993). Florística e fisionomia da vegetação no extremo norte do litoral da Paraíba. *Revista Brasileira de Botânica*. 16:115–130.
- PALACE, M.; KELLER, M.; ASNER, G.P.; SILVA, J.N.M.; CARLOS, P. (2007). Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*. 238:309-318.
- PALACE, M.; KELLER, M.; SILVA, H. (2008). Necromass production: studies in undisturbed and logged Amazon forests. *Ecological Applications*. 18(4),:873-884.

- PALACE, M.; KELLER, M.; HURTT, G.; FROLKING, S. (2012). A review of above ground Necromass in Tropical forests. p.215-252. *In: SUDARSHANA, P.; NAGESWARA-RAO, M.; SONEJI, J.R. (ed). Tropical Forests.*
- PAULETTO, D. (2006). *Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira grossa em floresta submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste do Mato Grosso*. Dissertação de Mestrado. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brasil. 83p.
- PHILLIPS, O.L., MALHI, Y., HIGUCHI, N., LAURANCE, W.F., NUNEZ, P.V., VASQUEZ, R.M., LAURANCE, S.G., FERREIRA, L.V., STERN, M., BROWN, S.; GRACE, J. (1998). Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282:439-442
- PINTO, S.I.C.; MARTINS, S.V.; BARROS, N.F.; DIAS, H.C.T. (2009). Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional semidecidual na reserva florestal Mata do Paraíso em Viçosa, MG, Brasil. *Revista Árvore*. 33(4): 652-663.
- PIRES, L.A.; BRITZ, R.M.; MARTEL, G.; PAGANO, S.N. (2006). Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. *Acta bot. bras.*, 20(1): 173-184.
- PORTELA, R.C.Q. & SANTOS, F.A.M. (2007). Produção e espessura da serapilheira na borda e interior de fragmentos florestais de Mata Atlântica de diferentes tamanhos. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(2):271-280.
- PP SYSTEMS. (2002). Operator's Manual, Version 1.00. EGM-4 Environmental 750 Gas Monitor For CO2.
- PP SYSTEMS. (2003). Operator's Manual, Version 3.30.SRC-1 / CPY-2 Closed System Chambers (For Use With All EGM's (1/2/3/4) and CIRAS-1).
- PROCÓPIO-DE-OLIVEIRA, P; NASCIMENTO, M.T; CARVALHO, F.A; VILLELA, D.M; KIERULFF, M.C; VERULI, V.P; LAPENTA, M.J; SILVA, A.P. (2008). Qualidade do habitat na área de ocorrência do mico-leão-dourado. *In: Procópio-de-Oliveira, P; Grativol, A D.; Miranda, C.R. (Ed). Conservação do mico-leão-dourado*, p.14-39.

- PROCTOR, J. (1983). Tropical Forest litterfall. I. Problems of data comparison. *In*: Sutton, S. L.; Whitmore, T. C.; Chadwick, A. C. *Tropical rain forest and managemnet*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p.267-273
- RADAMBRASIL. (1983). *Levantamento de recursos naturais*. Rio de Janeiro, RJ: Ministério das Minas e Energia, v.32, 768 p.
- RICE, A.H.; PYLE, E.H.; SALESKA, S.R.; HUTYRA, L.; PALACE, M.; KELLER, M.; CARMARGO, P.B.; PORTILHO, K.; MARQUES, D.F.; WOFYSY, S.C. (2004). Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. *Ecological Applications*. 14(4):555–571.
- RIZZINI, C.T. (1979). *Tratado de fitogeografia do Brasil. Aspectos ecológicos*. Hucitec / Edusp, São Paulo, v.2.
- RODRIGUES, P.J.F.P.; NASCIMENTO, M. T. (2006). Fragmentação florestal: breves considerações teóricas sobre efeitos de borda. *Rodriguésia*, 57(1):63-74.
- ROLIM, S.G.; JESUS, R.M.; NASCIMENTO, H.E.N.; COUTO, H.T.Z; CHAMBERS, J.Q. (2005). Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period. *Oecologia*, 142: 238–246
- SALESKA, S.R.; MILLER, S.D.; MATROSS, D.M.; GOULDEN, M.L.; WOFYSY, S.C.; DA ROCHA, H.R.; CAMARGO, P.B.; CRILL, P.; DAUBE, B.C.; FREITAS, H.C.; HUTYRA, L.; KELLER, M.; KIRCHHOFF, V.; MENTON, M.; MUNGER, J.W.; PYLE, E.H.; RICE, A.H.; SILVA, H. (2003). Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. *Science*, 302: 1554-1557.
- SAITER, F.Z., WENDT, T., VILLELA, D.M., NASCIMENTO, MT. (2008). Rain Forests: Floristics. *In*: INTERNATIONAL COMMISSION ON TROPICAL BIOLOGY AND NATURAL RESOURCES. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Oxford: UNESCO, Eolss Publishers, 1:203-228.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; DALL'OLIO, A.; NUNES, K.S.; LEMOS, E.E.P. (1993). A model of litterfall, litter layer losses and mass transfer in a Humid Tropical Forest at Pernambuco, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*. 9(3): 291-301

- SAYER, E. J., 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*, v. 81, n. 1, p. 1-31.
- SCARIOT, A.; FREITAS, S. R.; NETO, E. M.; NASCIMENTO, M.T.; OLIVEIRA, L.C.; SANAIOTTI, T.; SAVILHA, A. C.; VILELLA, D. M. (2003). Vegetação e Flora. In: RAMBALDI, DENISE.; OLIVEIRA, D.A.S. (Orgs.). *Fragmentação de Ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas*. MMA/SBF, Brasília.
- SENTELHAS, P.C.; MARIN, F.R.; FERREIRA, A.S.; SÁ, E.J.S. (2003). *Banco de dados climáticos do Brasil*. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/index.php>.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3 ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1995. xix, 887 p.
- SOS MATA ATLÂNTICA. (2013). *Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica período 2011-2012*. Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, São Paulo.
- SILVA, G.C.; NASCIMENTO, M. T. (2001). Fitossociologia de um remanescente de mata sobre tabuleiros no norte do Estado do Rio de Janeiro (Mata do Carvão). *Revista Brasileira de Botânica*, 24(1):51 – 62.
- SINGH, J.S.; GUPTA, S.R. (1977). Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The Botanical Review*, 43: 449-528.
- SULZMAN, E.W.; BRANT, J.B.; BOWDEN, R.D.; LAJTHA, K. (2005). Contribution of aboveground litter, belowground litter, and rhizosphere respiration to total soil CO<sub>2</sub> efflux in an old growth coniferous forest. *Biogeochemistry*, 73: 231–256.
- SWIFT, M.J., ANDERSON, J.M. (1989). Decomposition: Tropical Rain Forest Ecosystems. In: Lieth, H and Weger, M.J.A. *Ecosystems of the World* 14(b): 547-569.
- TABANEZ, A.J.; VIANA, V.M.; DIAS, A.S. (1997). Conseqüências da fragmentação e efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um

- fragmento de floresta de Panalto de Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, 57(1): 47-60.
- TOLEDO, L.G. (2002). *Efeito da umidade na respiração de serrapilheira grossa e fina em uma floresta tropical de terra-firme da Amazônia Central*. Dissertação (Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus- AM. 50p.
- TURNER, I.M.; CORLETT, R.T. (1996). The conservation value of small isolated fragments of lowland tropical rain forest. *Trends in Ecology and Evolution*, 11(8):330-333.
- VASCONCELOS, H.L.; LAURANCE, W.F. (2005). Influence of habitat, litter type, and soil invertebrates on leaf-litter decomposition in a fragmented Amazonian landscape. *Oecologia*, 144: 456–462.
- VASCONCELOS, H.L.; LUIZÃO, F.J. (2004). Litter production and litter-nutrient concentrations in a fragmented Amazonian Landscape: Edge and soil effects. *Ecological Applications*, 14(3):884-892.
- VAN WAGNER, C.E. (1968). The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*, 14(1):20-26.
- VEIGA, L.G. (2008). *Variação do Estoque de Madeira Morta em Diferentes Altitudes de Floresta Ombrófila Densa Atlântica*. Monografia. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / Instituto De Biociências. Botucatu-SP. 26p.
- VIEIRA, A.S., ALVES, L.F., DUARTE-NETO, P.J., MARTINS, S.C., VEIGA, L.G., SCARANELLO, M.A., PICOLLO, M.C., CAMARGO, P.B., DO CARMO, J.B., SOUSA NETO, E., SANTOS, F.A.M., JOLY, C.A., MARTINELLI, L.A., (2011). Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above-and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. *Ecology and Evolution*, 1(3): 421-434.
- VILLELA, D.M., ARAGÃO, L.E.O.C., GAMA, D.M., NASCIMENTO, M.T.; REZENDE, C.E., (1998). Effect of selective logging on litter production and decomposition in an Atlantic forest, RJ, Brazil. *Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros*, Águas de Lindóia: ACIESP. p.253-261

- VILLELA, D.M., NASCIMENTO, M.T., ARAGÃO, L.E.; GAMA, D.M., (2006). Effect of selective logging on forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic forest. *Journal of Biogeography*, 33: 506-516.
- VILLELA, D.M.; DE MATTOS, E.A.; ARCHANJO, K.P.; DA SILVA, A.P.; NASCIMENTO, M.T. (2011). Tree species functional traits as a tool to restoration ecology of Atlantic forest fragments. *Anais do IV Congresso de Restauração Ecológica*. Mexico.
- VILLELA, D.M.; DE MATTOS, E.A.; PINTO, A.S.; VIEIRA, S.A.; MARTINELLI, L.A. (2012) Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. *Braz. J. Biol.*, 72(1):1-10.
- VILLELA, D.M.; PROCTOR, J. (2002). Leaf Litter Decomposition and Monodominance in the Peltogyne Forest of Maracá Island, Brazil. *Biotropica*, 34(3): 334–347
- VITOUSEK, P.M. (1984). Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forest. *Ecology*, 5(1):285-298.
- VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L., (1986). Nutrient cycling in moist tropical forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 137-167.
- WALLACE, J.B.; EGGERT, S.L.; MEYER, J.L.; WEBSTER, J.R. (1999). Effects of resource limitation on a Detrital-based ecosystem. *Ecological Monographs*, 69(4):409–442.
- Whitmore, T.C. (1989). Canopy Gaps and the Two Major Groups of Forest Trees. *Ecology*, 70: 536–538.
- WOOD, T.E.; LAWRENCE, D.; CLARK, D. A. & CHAZDON, R.L. (2009). Rain forest nutrient cycling and productivity in response to large-scale litter manipulation. *Ecology*, 90:109-121.

## 10. APÊNDICES

**Apêndice 1.** Datas de amostragem e coleta de dados para o estoque e respiração heterotrófica da necromassa fina e grossa nos fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense.

Fragmento	Transecto	Área	Data de Coleta
EEEG	1	Borda	15/03/2013
	2	Borda	15/03/2013
	3	Interior	22/03/2013
	4	Interior	22/03/2013
F. Imburi	1	Borda	01/11/2012
	2	Borda	01/11/2012
	3	Interior	12/11/2012
	4	Interior	14/11/2012
F. Palmeiras	1	Borda	24/10/2012
	2	Borda	26/10/2012
	3	Interior	22/11/2012
	4	Interior	29/11/2012
F. Santana	1	Borda	10/12/2012
	2	Borda	10/12/2012
	3	Interior	16/01/2013
	4	Interior	18/01/2013
F. Stº.Antônio	1	Borda	05/12/2012
	2	Interior	07/12/2012
	3	Borda	05/12/2012
	4	Interior	17/12/2012

**Apêndice 2.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) e teste não-paramétrico de Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ) para efeito de borda no estoque total e por frações de necromassa fina, e espessura da camada sobre o solo em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Variável analisada pelo teste não-paramétrico de Mann-Whitney.

Variável	Graus de Liberdade	t	p
Total*	-	18	0,3095
Folhas	7,73	0,2288	0,8249
Galhos finos	7,37	1,5552	0,0788
Resto*	-	16	0,5476
Espessura	7,19	0,0661	0,9491

**Apêndice 3.** Análise de variância para a necromassa fina total entre os fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Fonte de variação	Soma de quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	F	P
Entre Grupos	17,556	4	4,3890	2,6292	0,07609
Dentro dos grupos	25,04	15	1,6693		
Total	42,596	19	2,2419		

**Apêndice 4.** Análise de variância para a fração folhas da necromassa fina entre os fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Fonte de variação	Soma de quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	F	P
Entre Grupos	12,113	4	3,0283	3,8801	0,02338
Dentro dos grupos	11,707	15	0,7805		
Total	23,82	19	1,2537		

**Apêndice 5.** Análise de variância para a fração galhos da necromassa fina entre os fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Fonte de variação	Soma de quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	F	P
Entre Grupos	2,7954	4	0,6989	0,9707	0,4523
Dentro dos grupos	10,7991	15	0,7199		
Total	13,5945	19	0,7155		

**Apêndice 6.** Análise de variância para a fração resto da necromassa fina entre os fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Fonte de variação	Soma de quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	F	P
Entre Grupos	0,2570	4	0,0643	3,1161	0,04718
Dentro dos grupos	0,3093	15	0,0206		
Total	0,5663	19	0,0298		

**Apêndice 7.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) e para efeito de borda no estoque (t/ha) e volume ( $m^3/ha$ ) de necromassa grossa em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Variável	Gráus de Liberdade	t	p
Estoque	7,095	-0,0056	0,9957
Volume	7,91	-0,5506	0,5971

**Apêndice 8.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) e para efeito de borda no estoque (t/ha) e volume ( $m^3/ha$ ) de necromassa grossa por grupos funcionais em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Grupo Funcional	Variável	Graus de Liberdade	t	p
Lianas	Estoque	6,874	0,4416	0,6723
	Volume	7,63	0,1114	0,9142
Árvores	Estoque	6,885	-0,0280	0,9784
	Volume	7,999	-0,5629	0,5889

**Apêndice 9.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) para efeito de borda no estoque (t/ha) e volume ( $m^3/ha$ ) de necromassa grossa por graus de decomposição em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Grau de decomposição	Variável	Graus de Liberdade	t	p
1	Estoque	7,981	0,031	0,9761
	Volume	7,964	-0,0735	0,9432
2	Estoque	7,99	0,3311	0,7491
	Volume	7,69	-0,061	0,9529
3	Estoque	7,987	-0,4722	0,6494
	Volume	7,174	-0,7057	0,5026

**Apêndice 10.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) e para efeito de borda no estoque (t/ha) e volume ( $m^3/ha$ ) de necromassa grossa por classes de tamanho em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Classes de tamanho	Variável	Graus de Liberdade	t	p
M	Estoque	7,942	0,5546	0,5944
	Volume	7,83	0,4648	0,6547
G	Estoque	7,254	-0,2187	0,8329
	Volume	7,957	-0,8043	0,4446

**Apêndice 11.** Análise de variância para o volume da necromassa grossa entre os fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Fonte de variação	Soma de quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	F	P
Entre Grupos	176,56	4	44,1400	3,9761	0,02148
Dentro dos grupos	166,52	15	11,1013		
Total	343,08	19	18,0568		

**Apêndice 12.** Análise de variância para o estoque da necromassa grossa entre os fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Fonte de variação	Soma de quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	F	P
Entre Grupos	41,633	4	10,4083	5,1677	0,00806
Dentro dos grupos	30,211	15	2,0141		
Total	71,84	19	3,7813		

**Apêndice 13.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) para efeito de borda na respiração heterotrófica ( $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ ) e umidade (%) da camada de necromassa fina em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Variável	Graus de Liberdade	t	p
Respiração	3,31	-3,2300	0,0420
Umidade	6,55	-4,9587	0,0019

**Apêndice 14.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) para efeito de borda na respiração heterotrófica ( $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ ), umidade (%) e densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) da necromassa grossa em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Variável	Graus de Liberdade	t	p
Respiração	4,90	-4,7319	0,0055
Umidade	6,24	-3,1719	0,0183
Densidade	6,98	1,6144	0,1506

**Apêndice 15.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) para efeito de borda na respiração heterotrófica ( $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ ), umidade (%) e densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) da necromassa grossa, por grupos funcionais, em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ. (\*) Variável analisada pelo teste não-paramétrico de Manh-Whitney.

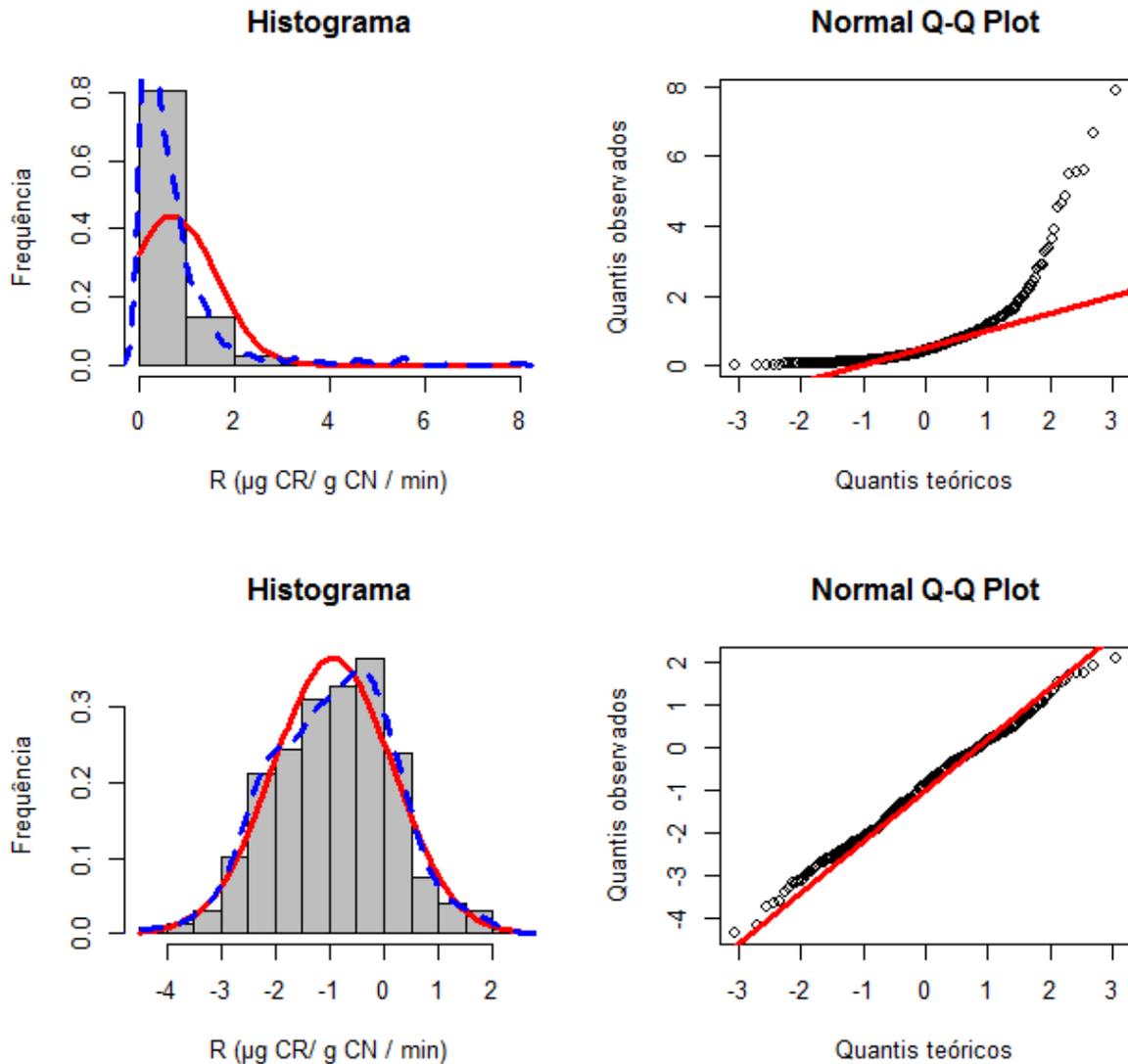
Grupo Funcional	Variável	Graus de Liberdade	t	p
Árvores	Respiração	3,56	-3,9725	0,0206
	Umidade	6,81	-3,0471	0,0193
	Densidade	4,29	1,0332	0,3562
Lianas	Respiração	4,22	-4,656	0,0084
	Umidade	6,43	-5,280	0,0015
	Densidade*	-	20	0,0159

**Apêndice 16.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) para efeito de borda na respiração heterotrófica ( $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ ), umidade (%) e densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) da necromassa grossa, por graus de decomposição, em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ..

Grau de Decomposição	Variável	Graus de Liberdade	t	p
1	Respiração	7,99	-2,0010	0,0804
	Umidade	5,54	-2,9611	0,0278
	Densidade	8,00	0,7446	0,4778
2	Respiração	5,56	-1,9916	0,0973
	Umidade	7,88	-1,9154	0,0923
	Densidade	7,42	0,1197	0,9079
3	Respiração	7,99	-3,6941	0,0061
	Umidade	7,83	-2,7607	0,0252
	Densidade	4,92	2,8997	0,0344

**Apêndice 17.** Valores teste t ( $p < 0,05$ ) para efeito de borda na respiração heterotrófica ( $\mu\text{g C}_R/\text{g C}_N/\text{min}$ ), umidade (%) e densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) da necromassa grossa, por classes de tamanho, em áreas de borda e interior de fragmentos de floresta estacional semidecidual do Norte Fluminense, RJ.

Classe de Tamanho	Variável	Graus de Liberdade	t	p
M	Respiração	7,58	-4,1407	0,0037
	Umidade	6,55	-3,2672	0,0151
	Densidade	7,73	1,2873	0,2352
G	Respiração	6,55	-0,9822	0,3609
	Umidade	5,59	-3,2421	0,0195
	Densidade	7,80	-0,5382	0,6054



**Apêndice 18.** Exemplo de análise exploratória para testar a normalidade dos dados de fluxo de  $\text{CO}_2$  da necromassa grossa. Histograma superior e gráfico dos quantis normais superior, as amostras apresentam distribuição assimétrica. Histograma inferior e gráfico dos quantis normais inferior para as amostras transformadas (Log), com distribuição normal.