



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**ESTOQUE E DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES FINAS EM  
CLAREIRAS NATURAIS E CLAREIRAS FORMADAS  
POR EXPLORAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA EM  
UMA FLORESTA DE TERRA FIRME NO MUNICÍPIO  
DE MOJU, PARÁ**

**FÁBIO MIRANDA LEÃO**

**BELÉM**

**2010**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**ESTOQUE E DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES FINAS EM  
CLAREIRAS NATURAIS E CLAREIRAS FORMADAS  
POR EXPLORAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA EM  
UMA FLORESTA DE TERRA FIRME NO MUNICÍPIO  
DE MOJU, PARÁ**

**Engenheiro Florestal FÁBIO MIRANDA LEÃO**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Museu Paraense Emilio Goeldi para a obtenção do título de Mestre em BOTÂNICA, área de concentração Botânica Tropical.**

**Orientadora: Profa. Dra. IZILDINHA DE SOUZA MIRANDA  
Coorientador: Prof. Dr. FERNANDO CRISTOVAM DA SILVA JARDIM**

**BELÉM**

**2010**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**ESTOQUE E DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES FINAS EM  
CLAREIRAS NATURAIS E CLAREIRAS FORMADAS  
POR EXPLORAÇÃO SELETIVA DE MADEIRA EM  
UMA FLORESTA DE TERRA FIRME NO MUNICÍPIO  
DE MOJU, PARÁ**

**FÁBIO MIRANDA LEÃO**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural  
da Amazônia e ao Museu Paraense Emilio Goeldi para a  
obtenção do título de Mestre em BOTÂNICA, área de  
concentração Botânica Tropical.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Dr.<sup>a</sup> Izildinha de Souza Miranda**  
**Orientadora - Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA**

---

**Dra. Ima Célia Magalhães Vieira**  
**Museu Paraense Emilio Goeldi – MPEG**

---

**Dr. Leandro Valle Ferreira**  
**Museu Paraense Emilio Goeldi – MPEG**

---

**Dra. Maria Aparecida Lopes**  
**Universidade Federal do Pará - UFPA**

A minha avó **Iraci Miranda dos Santos** (*in memoriam*)

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me concedido tudo o que tenho.

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade de cursar a pós-graduação.

A FAPESPA pela concessão da bolsa de mestrado.

À minha orientadora Dra. Izildinha de Souza Miranda pela confiança, dedicação ao me orientar e pela amizade por quase cinco anos.

Ao meu co-orientador Dr. Fernando Cristovam da Silva Jardim por ter cedido um espaço para trabalhar com raízes finas no seu projeto.

À equipe de estagiários e grandes amigos, que me ajudaram na coleta e no processamento das amostras: Heraldo Silva, Magno Reis, Fernando Lacerda.

Aos amigos Prof. Luiz Gonzaga, Tâmara Lima, Lívia Lobato, Natalia Mafra, Joice Carolina, Igor do Valle, José Fernandes, Marcelino Donádio, Edgard Souza e Alexandre Mesquita, pelo incentivo e amizade.

À minha maravilhosa namorada Lílian Carla Ferreira Favacho pelo amor, incentivo e paciência.

À minha Mãe Telma Leão, minha segunda Mãe Selma Leão, meu Pai Antonio Sérgio e meu irmão Victor Leão, pelo amor, confiança e grande incentivo.

A família Leão.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, colaboraram para a concretização deste trabalho, muito obrigado!

## RESUMO

A exploração florestal seletiva, de impacto reduzido, é uma forma de manejo florestal que procura diminuir o impacto na biota. Os efeitos dos distúrbios, após a exploração, na estrutura e na função das espécies têm sido muito estudados. Contudo, muitos estudos já realizados dedicam-se somente à parte da vegetação acima do solo, pouquíssimos estudos analisam a parte do solo, principalmente quando se trata de raízes finas, que são muito importantes para a ciclagem biogeoquímica, pois possui uma concentração elevada de nutrientes, principalmente carbono. Esse trabalho teve como objetivo avaliar o estoque de massa viva e morta de raízes finas em uma floresta tropical de terra firme localizada no município de Mojú – Pará, após perturbações naturais e antrópica. O trabalho foi realizado no campo experimental da Empresa Brasileira de Agro Pecuária (EMBRAPA), no Km 30 da Rodovia PA – 150, no município de Mojú – PA, em uma floresta tropical densa de terra firme. Foram selecionadas áreas que sofreram exploração seletiva de madeira a 14 anos, onde foram escolhidas cinco clareiras e implantadas nove parcelas de 10x10m ao redor de cada clareira, sendo uma no centro e duas nas direções norte, sul, leste e oeste, no sentido da clareira para o interior da floresta, em cada parcela foram coletadas randomicamente três repetições de amostras de solo, em três diferentes profundidades de 10cm cada. Também foram selecionadas cinco clareiras naturais provocadas por tombamento de árvores, onde foram coletados três repetições de amostra de solo nas direções da copa, tronco e raízes das árvores tombadas em quatro profundidades de 10cm cada. Para efeito de comparação foram selecionadas cinco áreas intactas e implantadas cinco parcelas de 10x10m e em cada parcela foram coletados solos da mesma forma descrita acima. Foram contabilizados e mensurados todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito  $\geq 5$  cm nas parcelas testemunhas e nas parcelas que sofreram exploração seletiva de madeira. As raízes finas foram triadas e separadas em raízes muito finas (diâmetro  $\leq 1$ mm), raízes finas ( $1\text{ mm} < \text{diâmetro} \leq 5$ mm), vivas e mortas, posteriormente foram secas em uma estufa a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  e pesadas. Para análise foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis e regressão linear simples. A biomassa de raízes muito finas foi maior em áreas de floresta não explorada do que em áreas de florestas explorada e clareiras naturais (FLI:  $\bar{X} = 460,53$ ; EPM=  $\pm 23,05\text{ g/m}^2$ ; FEX:  $\bar{X} = 324,85$ ; EPM=  $\pm 9,65\text{ g/m}^2$ ; CLN:  $\bar{X} = 399,68$ ; EPM=  $\pm 18,49$ ), já a biomassa de raízes finas e necromassa de raízes muito finas não apresentaram diferença significativa entre as áreas. Analisando a distâncias das parcelas em relação ao centro das clareiras, foi constatado que a massa de raízes muito finas foi maior significativamente no centro da clareira, do que na sua borda e a 10m de distância (Centro:  $440,01 \pm 37,67\text{ g/m}^2$ ; Borda:  $303,82 \pm 14,89\text{ g/m}^2$ ; 10 m:  $318,15 \pm 10,28\text{ g/m}^2$ ), já a biomassa e necromassa de raízes finas não apresentaram diferença significativa entre as parcelas. O centro da clareira apresentou maior biomassa de raízes muito finas do que as regiões norte e oeste (Centro:  $440,01 \pm 37,67\text{ g/m}^2$ ; Norte:  $315,78 \pm 16,53\text{ g/m}^2$ ; Oeste:  $278,82 \pm 23,83$ ; 46,81; Sul:  $319,78 \pm 15,02\text{ g/m}^2$ ; Leste:  $329,55 \pm 14,91$ ), já as raízes finas vivas e a necromassa não apresentaram diferenças entre o centro e as demais regiões. Não houve diferença significativa entre as regiões da copa, tronco, raiz e controle das árvores tombadas em clareiras naturais. A biomassa de raízes finas muito finas e necromassa diminuíram significativamente com a profundidade do solo. Não houve relação significativa entre a biomassa de raízes finas e a densidade de árvores. Em conclusão, área que sofreu exploração seletiva de madeira ainda não recuperou a biomassa de raízes finas, já a floresta no seu processo natural não altera a massa de raízes finas. A distribuição vertical de raízes finas seguiu o padrão das florestas tropicais. Outros fatores podem influenciar diretamente na massa de raízes finas, como propriedade físico-química do solo e não a densidade de árvores.

**Palavras chaves:** Manejo, Exploração Seletiva, clareira, Biomassa, Necromassa e Amazônia.

## ABSTRACT

The reduced-impact logging (RIL), is a form of forest management that seeks to reduce the impact on biota. The disturbance's effects, after the logging, in the structure and in function of the species have been widely studied. However, many studies already realized have been dedicated only to the part of the vegetation above ground, very few studies have analyzed the part of the soil, especially when it comes to fine roots, which are very important for biogeochemical cycling, because of high concentration of nutrients, mainly carbon. This study aimed to evaluate the stock of live and dead biomass of fine roots in a tropical forest, after natural and anthropic disturbances. The study was cored out in experimental field of the Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA) in the city of Mojú village a dense Terra-firme tropical forest. Were selected areas that have experienced RIL during 14 years, where five gaps were chosen and deployed with nine plots of 10x10m around every gap, being one in the center of the gap and two in the directions north, south, east and west, in the direction of the gaps to into the forest. In each plot were randomly collected three replicates of soil samples at three different depths of 10 cm each. Were also selected five natural gaps caused by fallen trees, where was collected three replicates of soil sample in the directions of the crown, trunk and roots of fallen trees at four depths of 10 cm each. For comparison purposes were selected five intact areas, and implanted five 10x10m plots and in each plot were collected soil samples in the same manner described previously. Were counted and measured all individuals with diameter at breast height  $\geq 5$  cm in the control plots and in the plots that suffered RIL. Soil samples were soaked in plastic tray containing tap water for the separation of very fine roots (diameter  $\leq 1$  mm), fine roots ( $1 \text{ mm} < \text{diameter} \leq 5 \text{ mm}$ ) and live and dead roots. Roots were dried at  $70^{\circ}\text{C}$  for 48h and weighed (0,0001g). For analysis we used the Kruskal-Wallis test and correlation Pearson. The biomass of very fine roots was higher in unlogged forest than in RIL forest areas (FLI:  $\bar{X} = 460,53$ ;  $\text{EPM} = \pm 23,05 \text{ g/m}^2$ ; FEX:  $\bar{X} = 324,85$ ;  $\text{EPM} = \pm 9,65 \text{ g/m}^2$ ; CLN:  $\bar{X} = 399,68$ ;  $\text{EPM} = \pm 18,49$ ), however biomass of fine roots and necromass of very fine roots showed no significant differences between areas. Mass of very fine roots was significantly higher in the center of the gaps than in the edges and 10m away (Center:  $440.01 \pm 37.67 \text{ g / m}^2$ ; Edge:  $303.82 \pm 14.89 \text{ g / m}^2$ ; 10 m:  $318.15 \pm 10.28 \text{ g / m}^2$ ;). Necromass and biomass of fine roots showed no significant difference between plots. The center of the gaps presented a higher biomass of very fine roots when compared to plots in the north and west (Center:  $440.01 \pm 37.67 \text{ g / m}^2$ ; North:  $315.78 \pm 16.53 \text{ g / m}^2$ ; West:  $278.82 \pm 23.83, 46.81$ , South:  $319.78 \pm 15.02 \text{ g / m}^2$ ; East:  $329.55 \pm 14.91 \text{ g / m}^2$ ), but the live and dead fine roots had no differences between the center and other regions. The mass of very fine root, fine and necromass were similaries in regions of the crown, stem, root and control. The biomass of fine roots, very fine roots and necromass decreased significantly with soil depth. There was no significant relationship between fine root biomass and density of trees. In conclusion, an area that of RIL still had not recovered the fine root biomass, but the forest in its natural process does not change the mass of fine roots. The vertical distribution of fine roots followed the pattern of tropical forests.

**Key words:** Management, Selective logging, Biomass, Necromass and Amazon.

## SUMÁRIO

|               |  |                       |
|---------------|--|-----------------------|
| <b>1.</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>p.</b><br><b>1</b> |
| <b>1.1.</b>   | <b>OBJETIVOS</b>   | <b>3</b>              |
| <b>1.1.1.</b> | <b>OBJETIVOS GERAIS</b>  | <b>3</b>              |
| <b>1.1.2.</b> | <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>   | <b>3</b>              |
| <b>1.2.</b>   | <b>HIPÓTESES</b>   | <b>3</b>              |
| <b>2.</b>     | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b>   | <b>4</b>              |
| <b>2.1.</b>   | <b>RAÍZES FINAS</b>  | <b>4</b>              |
| <b>2.2.</b>   | <b>FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS</b>                                  | <b>5</b>              |
| <b>2.2.1.</b> | <b>NUTRIENTES NO SOLO</b>  | <b>5</b>              |
| <b>2.2.2.</b> | <b>DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO</b>   | <b>6</b>              |
| <b>2.2.3.</b> | <b>TIPO DE VEGETAÇÃO</b>   | <b>7</b>              |
| <b>2.2.4.</b> | <b>A SUCESSÃO E OS DIFERENTES TIPOS DE USO DA TERRA</b>                                    | <b>12</b>             |
| <b>2.3.</b>   | <b>DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DAS RAÍZES FINAS NO SOLO</b>                                      | <b>14</b>             |
| <b>2.4.</b>   | <b>CONTRIBUIÇÃO DAS RAÍZES FINAS PARA A CICLAGEM DE NUTRIENTES</b>                         | <b>15</b>             |
| <b>3.</b>     | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b>  | <b>16</b>             |
| <b>3.1.</b>   | <b>ÁREA DE ESTUDO</b>  | <b>16</b>             |
| <b>3.2.</b>   | <b>DELINEAMENTO EXPERIMENTAL</b>   | <b>17</b>             |
| <b>3.3.</b>   | <b>AValiação DAS RAÍZES FINAS</b>  | <b>18</b>             |
| <b>3.4.</b>   | <b>ANÁLISE DOS DADOS</b>   | <b>18</b>             |
| <b>4.</b>     | <b>RESULTADOS</b>  | <b>19</b>             |
| <b>4.1.</b>   | <b>CLAREIRAS FORMADAS POR EXPLORAÇÃO DE MADEIRA, CLAREIRAS NATURAIS E FLORESTA INTACTA</b> | <b>19</b>             |
| <b>4.2.</b>   | <b>DENSIDADE DE RAÍZES FINAS COM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE DO SOLO</b>                        | <b>20</b>             |
| <b>4.3.</b>   | <b>RELAÇÃO ENTRE BIOMASSA DE RAÍZES FINAS E A DENSIDADE DE ÁRVORE</b>                      | <b>21</b>             |
| <b>5.</b>     | <b>DISCUSSÃO</b>   | <b>21</b>             |
| <b>6.</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>  | <b>25</b>             |
| <b>7.</b>     | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>  | <b>25</b>             |



## LISTA DE TABELAS

|                  |   |                 |
|------------------|---|-----------------|
| <b>TABELA 1.</b> | <b>Estoque em <math>\text{g/m}^2</math> de raízes finas em diferentes tipos de vegetação em varias localidades no mundo.</b>  | <b>p.<br/>9</b> |
| <b>TABELA 2.</b> | <b>Produção em <math>\text{g/m}^2 \text{ ano}^{-1}</math> de raízes finas em diferentes tipos de vegetação em varias localidades no mundo.</b>  | <b>11</b>       |
| <b>TABELA 3.</b> | <b>Áreas em <math>\text{m}^2</math> das clareiras formadas pela exploração seletiva de madeira e clareiras formadas por queda natural de árvores.</b>   |                 |
| <b>TABELA 4.</b> | <b>Média e erro padrão de biomassa e necromassa de raízes finas (<math>\text{g/m}^2</math>) em diferentes categorias de tamanho a certa distância com relação ao centro das clareiras provocada pela exploração seletiva de madeira município de Mojú – Pará – Brasil. n=número de coletas.</b>     | <b>36</b>       |
| <b>TABELA 5.</b> | <b>Média e erro padrão de biomassa e necromassa de raízes finas (<math>\text{g/m}^2</math>) em diferentes categorias de tamanho nas diversas direções com relação ao centro das clareiras provocado pela exploração seletiva de madeira município de Mojú – Pará – Brasil. n=número de coletas.</b> | <b>36</b>       |
| <b>TABELA 6.</b> | <b>Média e erro padrão de biomassa e necromassa de raízes finas (<math>\text{g/m}^2</math>) em diferentes categorias de tamanho nas diversas direções em cada zona das árvores tombadas naturalmente e áreas de floresta intacta no município de Mojú – Pará – Brasil. n=número de coletas.</b>     | <b>38</b>       |

## LISTA DE FIGURAS

|                  |   |             |
|------------------|---|-------------|
| <b>Figura 1.</b> | <b>Média do estoque de massa de raízes finas em diferentes tipos de vegetações.</b>   | <b>p. 8</b> |
| <b>Figura 2.</b> | <b>Média da produção de massa de raízes finas em diferentes tipos de vegetações.</b>  | <b>8</b>    |
| <b>Figura 3.</b> | <b>Localização da área de estudo, destacando o Estado do Pará (A), o município de Mojú (B) e a Estação Experimental da Embrapa (C). (Fonte: UAS, Museu Paraense Emílio Goeldi, janeiro/2006).</b>   | <b>32</b>   |
| <b>Figura-4.</b> | <b>Desenho esquemático da distribuição das parcelas e pontos amostrais, em relação á clareira.</b>  | <b>33</b>   |
| <b>Figura-5.</b> | <b>Desenho esquemático dos pontos das amostras em áreas de árvores caídas.</b>  | <b>33</b>   |
| <b>Figura 6.</b> | <b>Diferentes fases da metodologia do estudo de raízes finas. A) Trado coletor de solo; B) armazenamento do solo em saco plástico; C) Sacos armazenados sob refrigeração; D) Triagem das raízes finas; E) Secagem em estufa; F) Pesagem.</b>  | <b>34</b>   |
| <b>Figura 7.</b> | <b>Gráfico do tipo Box Plot, mostrando a biomassa de raízes muito finas (<math>\leq 1</math> mm), finas (1 – 5 mm) e necromassa de raízes muito finas (<math>\leq 1</math> mm) em CLN= clareiras naturais (n= 45), FEX= floresta que sofreu exploração seletiva de madeira (n= 135), FLI= floresta não explorada (n=15) no município de Mojú – Pará – Brasil. Letras diferentes denotam diferença estatística. H= 27, 381 e P &lt; 0.001 (<math>\leq 1</math> mm); H= 4, 990 e P= 0.082 (1 – 5 mm), H= 5,730 e P= 0.057 (necromassa <math>\leq 1</math> mm).</b>      | <b>35</b>   |
| <b>Figura 8.</b> | <b>Gráfico do tipo Box Plot, mostrando a biomassa de raízes muito finas (<math>\leq 1</math> mm), finas (1 – 5 mm) e necromassa de raízes muito finas (<math>\leq 1</math> mm) em diferentes profundidades do solo (A= 0-10, n=195; B= 10-20 n=195; C= 20-30, n=195; D= 30-40cm, n=60), em uma floresta tropical úmida no município de Mojú – Pará – Brasil. Letras diferentes denotam diferença estatística. H= 337,04 e P &lt; 0.0001 (<math>\leq 1</math> mm); H= 169,46 e P= 0.0001 (1 – 5 mm), H= 93,81 e P &lt; 0.0001 (necromassa <math>\leq 1</math> mm).</b> | <b>37</b>   |
| <b>Figura 9.</b> | <b>Relação entre área basal e número de árvores com massa total e necromassa de raízes finas (N=46) no município de Mojú – PA.</b>  | <b>38</b>   |

## 1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia, a exploração madeireira na maioria das vezes é feita de forma predatória causando impactos severos sobre a floresta, como, quebra árvores remanescentes e modificações prejudiciais na estrutura física e química do solo (MELLO – IVO; ROSS, 2006). Nas florestas exploradas convencionalmente na região de Paragominas uma única árvore de valor comercial extraída, provoca danos em 30 árvores maiores que 10 cm de diâmetro a altura do peito (DAP) e uma abertura de 663 m<sup>2</sup> no dossel (VERÍSSIMO *et al.*, 1992), com isso há um maior risco de incêndio florestal, devido ao acúmulo de resíduos voláteis e maior incidência de radiação na superfície (GERWING & VIDAL, 2002).

Com a crescente exigência do mercado consumidor internacional de madeira e da parte pública no que se refere à sustentabilidade dos recursos florestais, há um número cada vez maior nos últimos anos, de iniciativas de manejo florestal de baixo impacto visando reduzir os danos causados à natureza (PUTZ *et al.*, 2000; VASCONCELOS *et al.*, 2009).

A exploração seletiva de madeira de baixo impacto pode causar à floresta danos leves a moderados. Estudos sobre o efeito da exploração florestal de impacto reduzido sobre a diversidade e composição de espécies na Amazônia mostram que as florestas manejadas provocam clareiras menores, melhorando o processo de regeneração natural (CARVALHO, 2002; D' OLIVEIRA; BRAZ, 2006; JARDIM *et. al.*, 2008).

Experimentos em clareiras formadas após exploração seletiva de madeira mostram que há um impacto inicial na regeneração de forma a aumentar a taxa de mortalidade. Porém, pouco tempo depois surgem espécies novas, os indivíduos das populações remanescentes apresentam uma diminuição na taxa de mortalidade, há um aumento considerável no número de ingresso, na taxa de crescimento em altura e na taxa de crescimento em diâmetro (MAGNUSSON *et. al.*, 1999; SERRÃO *et. al.*, 2003; NEMER; JARDIM, 2004; ZARIN *et. al.*, 2007; JARDIM; VASCONCELOS, 2008).

As clareiras provenientes de exploração seletiva de madeira influenciam nas condições físicas e químicas do solo. Ferreira *et. al* (2002) e Mello - Ivo & Ross (2006) mostraram que após oito anos da extração seletiva de madeira não houve mudanças na estrutura física no latossolo amarelo encontrado no interior das clareiras. No entanto, as clareiras formadas após a exploração seletiva de madeira apresentaram maior concentração de nutrientes disponíveis no solo (FERREIRA *et. al*, 2006).

A biomassa abaixo do solo também pode ser influenciada pela formação de clareiras advindas da exploração florestal ou clareiras formadas por quedas naturais de árvores.

Sudarapandian & Swami (1996) mostraram que as clareiras formadas pela exploração florestal aumentam a produtividade de raízes finas (SUDARAPANDIAN; SWAMI, 1996); no entanto, outros estudos não confirmaram esse resultado (JONES *et al.*, 2003; LEUSCHNER *et al.*, 2006).

As raízes finas ( $\leq 5\text{mm}$ ) possuem uma grande importância fisiológica para os vegetais, pois além de contribuir com a respiração, elas são os principais órgãos responsáveis pela aquisição de água e nutrientes (SILVER; MIYA, 2001). Além das funções importantes para os vegetais, as raízes finas também exercem funções importantes para o ecossistema, participando dos ciclos biogeoquímicos, como o ciclo da água, carbono, fósforo, nitrogênio (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997; GORDON; JACKSON, 2000; RUBENS, 2007) e evita a erosão do solo (ARREDONDO; JOHNSON, 1999).

A dinâmica de produção das raízes finas pode ser influenciada por diversos fatores, como a concentração de água e nutrientes no solo (CAVALIER; WRIGHT; SANTAMARIA, 1999; BURTON; PREGITZER; HENDRICK, 2000; BLAIR; PERFECTO, 2001), propriedade físico-química do solo (TOLEDO; KAUFFMAN, 2001), sazonalidade (SUNDARAPANDIAN; SWAMY, 1996; CASTELLANO, 2001; LEUSCHNER *et al.*, 2004; ZEWDIE; FETENE; OLSSON, 2008), tipo de vegetação, estágio sucessional e o histórico de uso do solo (CAVELIER; ESTEVEZ; ARJONA 1996; HERTEL; LEUSCHNE; HOLSCHER. 2003; JARAMILLO; HERNÁNDEZ; KAUFFMAN, 2003).

Devido à importância das raízes finas e a carência de estudos sobre a ecologia vegetal abaixo do solo em florestas tropicais, torna-se imperativo a necessidade de compreender seus padrões estruturais e os fatores que as influenciam; essas informações são importantes para subsidiar definições de técnicas de manejo florestal de baixo impacto, que visem à sustentabilidade das florestas tropicais, tão importantes para o planeta e em especial à Amazônia.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar o estoque de massa viva e morta de raízes finas em uma floresta tropical de terra firme localizada no município de Moju – Pará, após perturbações naturais (queda natural de árvores) e antrópica (exploração seletiva de madeira).

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1- Avaliar o estoque de massa de raízes finas, em regiões de clareiras formadas pela exploração seletiva de madeira.
- 2- Avaliar estoque de massa de raízes finas, em clareiras naturais.
- 3- Avaliar a distribuição vertical da biomassa de raízes finas, em relação à profundidade do solo.
- 4- Relacionar a massa de raízes finas, com a densidade das árvores.

### **1.2 HIPÓTESES**

- 1- A massa de raízes finas em clareiras formadas por exploração seletiva de madeira após 14 anos é diferente daquela encontrada em áreas não perturbadas e daquelas encontradas em áreas de clareiras naturais.
- 2- A massa de raízes finas em clareiras naturais é diferente daquela encontrada em áreas não perturbadas.
- 3- A massa de raízes finas em clareiras naturais é diferente nas áreas da copa, tronco e raiz. .
- 4- A massa de raízes finas diminui com a profundidade do solo.
- 5- Existe uma relação linear positiva entre a massa de raízes finas e a densidade de árvores.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. RAÍZES FINAS**

As raízes finas, não lenhosas e de diâmetro muito pequeno variando entre 1 a 5mm de diâmetro, são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes. Quanto menor o diâmetro maior a capacidade de absorção de água e nutrientes. A definição de raízes finas varia muito nos diferentes estudos, alguns autores consideram raízes finas aquelas com diâmetro inferior a 1 mm (TIERNEY & FAHEY, 2001; CASTELLANOS *et al.*, 2001), outros consideram as menores que 2 mm de diâmetro (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997; SON & HWANG, 2003; JOSLIN *et al.*, 2006; LEUSCHNER *et al.*, 2006; VALVERDE-BARRANTES; RAICH; RUSSELL, 2007; LIMA, 2008); outros consideram as menores que

3 mm (SUDARAPANDIAN & SWAMI, 1996; PAVON & BRIONES, 2000); e, por fim, existem autores que consideram raízes finas aquelas menores que 5mm de diâmetro, porém esses autores separam as raízes em diferentes classes diamétrica, como Gower (1987) e Maycock & Congdon (2000) que dividiram as raízes finas em menores que 1mm; entre 1 e 2 mm; entre 2 e 5 mm; e, como Cavalier *et al.*, (1996) que classificaram as raízes em muito finas (<2mm) e raízes finas (entre 2 e 5 mm).

As raízes finas encontram-se nas camadas mais superficiais do solo, onde há mais nutrientes e água; assim, as condições físicas do solo são mais favoráveis, especialmente devido às atividades microbianas elevadas nesse ambiente. A densidade de raízes finas diminui com a profundidade do solo; e também aumentam seus diâmetros para adquirir mais resistência nas camadas mais profundas, que em geral são mais compactadas (TOLEDO & KAUFFMAN, 2001; TAPIA-CORAL *et al.*, 2005).

As raízes finas são muito importantes para os ciclos biogeoquímicos, pois possuem uma concentração elevada de nutrientes (carbono, nitrogênio e fósforo) e uma baixa concentração de químicas estruturais, como lignina celulose, hemicelulose e taninos, o que facilita a decomposição e disponibiliza nutrientes no solo mais rapidamente do que folhas mortas e galhos secos (SILVER & MIYA, 2001; DORNBUSH; ISENHART; RAICH, 2002). A produção primária anual global de raízes finas pode chegar até 33% e consomem cerca de 6% do carbono total da atmosfera (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997).

A produção das raízes finas pode ser afetada por diversos fatores como, a disponibilidade de água e nutrientes no solo (OSTERTAG, 2001), tipo de vegetação e composição de espécies (LEUSCHNER *et al.*, 2004), histórico do tipo de uso da terra (CASTELLANOS, 2001) e condições físico química do solo (CATTANIO *et al.*, 2004).

## **2.2. FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS**

### **2.2.1. NUTRIENTES NO SOLO**

O desenvolvimento e a produção de raízes finas podem ou não ser afetado pela maior disponibilidade de nutrientes disponíveis no solo, isso pode variar dependendo de uma série de fatores.

Estudos realizados em florestas temperadas mostraram que a produção, longevidade e as atividades metabólicas, como a respiração das raízes finas é bem maior em locais com alta concentração de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, disponíveis (PREGITZER;

HENDRICK; FOGEL, 1993; PREGITZER *et al.*, 1995 e PREGITZER, 2002; BURTON; PREGITZER; HENDRICK, 2000). Em florestas tropicais, também foi verificado que a produção de raízes finas é maior em áreas ricas em fósforo e nitrogênio. (STEWART, 2000; BLAIR & PERFECTO, 2001; OSTERTAG, 2001).

No entanto, outros estudos mostraram resultados diferentes. Gower (1987) estudando planícies de florestas tropicais na Costa Rica verificou que houve uma relação negativa entre a biomassa de raízes finas e a disponibilidade de fósforo e que não houve nenhuma relação com a disponibilidade de nitrogênio assimilável no solo. Lima (2008), estudando uma floresta tropical úmida secundária na Amazônia Oriental submetida a estresse nutricional, verificou que a produtividade de raízes finas vivas foi menor em áreas submetidas ao estresse nutricional do que em áreas naturais e a produtividade de raízes mortas foi exatamente o contrário. Leuschner *et al.*, (2004), estudando as florestas temperadas na Alemanha, mostraram que o estoque de raízes finas vivas não se diferenciou entre solos ricos e pobres em nutrientes, mas as raízes finas mortas apresentou maior massa nas regiões ricas em fósforo e nitrogênio disponíveis. Valverde-Barrantes, Raich; Russell (2007), estudando o desenvolvimento das raízes finas de 6 espécies em uma floresta plantada de 15 anos, na Costa Rica, verificou que não houve relação entre a produtividade das raízes finas com a concentração de nitrogênio disponível no solo.

A maior concentração de nutrientes disponíveis no solo aumenta a longevidade das raízes finas vivas e diminui a produção de massa de raízes finas mortas, uma vez que nessas áreas o vegetal não possui a necessidade de manutenção das raízes finas para a captação de nutrientes (BURTON; PREGITZER; HENDRICK, 2000; YAVITT; WRIGHT, 2001). Porém o excesso de nitrogênio no solo pode diminuir a produtividade de raízes finas vivas e aumentar a produtividade de raízes finas mortas (GOWER & VITOUSEK, 1989; VALVERDE-BARRANTES; RAICH; RUSSELL, 2007 e LIMA, 2008).

Em solos pobres em nutrientes o vegetal utiliza como estratégia a relação custo e benefício, ou seja, o vegetal minimiza o envio de energia para a parte aérea estagnando seu crescimento aéreo e concentra sua energia para parte subterrânea investindo na produção de novas raízes finas vivas, ampliando assim a área específica de contato com o solo, o que leva a uma maior captação de nutrientes (BLAIR & PERFECTO, 2001; LEUSCHNER *et al.*, 2004). Como essas raízes finas novas possuem um diâmetro bem pequeno, sua longevidade baixa, e a taxa de renovação é muito rápida, fato que aumenta a produção de raízes finas mortas (DORNBUSH; ISENHART; RAICH, 2002; e LIMA, 2008).

### 2.2.2. DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO

A sazonalidade pluviométrica pode influenciar na produção das raízes finas; sendo a produção de raízes fina bem maior durante a estação úmida. Esse resultado foi encontrado por vários estudos realizados em florestas temperadas (PREGITZER; HENDRICK; FOGEL, 1993; LOPES *et al.*, 1998; JOSLIN; WOLFE; HANSON, 2000), em florestas tropicais úmidas (SUNDARAPANDIAN & SWAMY, 1996; JOSLIN; WOLFE; HANSON, 2000), em florestas tropicais secas (VISALAKSHI, 1994; CASTELLANO, 2001), em savana (CHEN; EAMOS; HUTLEY 2004) e em áreas semidesérticas (PAVON & BRIONES, 2000).

No entanto, outros estudos mostraram resultados contrastantes, onde a produtividade de raízes finas é maior durante a estação seca, como os estudos de Burton; Pregitzer; Hendrick, 2000 e Leushner (2004) em florestas temperadas, e os estudos de Mello *et al.*, (1998) e Lima (2008) em florestas tropicais e Zewdie; Fetene; Olsson, (2008) em florestas tropicais plantadas.

O aumento da umidade no solo melhora as condições físicas, deixando-os menos compactados; também favorece a ação dos micro-organismos, que aumentam a decomposição e como consequência há uma maior disponibilização de nutrientes. Por causa disso existe uma maior produtividade de raízes finas no período chuvoso (PREGITZER; HENDRICK; FOGEL, 1993; SUNDARAPANDIAN & SWAMY, 1996). Porém o aumento excessivo de nitrogênio disponível no solo, que normalmente ocorre na estação chuvosa, influencia negativamente na produtividade de raízes finas vivas e aumenta a produtividade de raízes finas mortas (LIMA, 2008).

Em florestas tropicais com déficit de água na estação seca a mortalidade de raízes finas é maior (SUNDARAPANDIAN & SWAMY 1996, GREEN *et al.*, 2005, SILVER *et al.*, 2005 e LIMA, 2008). No período seco a temperatura do solo aumenta a imobilização dos nutrientes, como nitrogênio e fósforo, além de compactar o solo dificultando a penetração das raízes finas nos mesmos (TUFEKCIOGLU *et al.*, 1999; VISALAKSHI, 1994 e ZEWDIE; FETENE; OLSSON, 2008). No entanto, algumas espécies possuem estratégia adaptativa ao estresse hídrico aumentando a produção de raízes finas nas regiões mais profundas do solo, com o objetivo de garantir a absorção de água, uma vez que a água disponível fica a maiores profundidades (MELLO *et al.*, 1998; BURTON; PREGITZER; HENDRICK, 2000 *et al.*, 2000; LEUSCHNER *et al.*, 2004 & LIMA, 2008).

Experimentos de irrigação florestal indicam que não há influência do aumento de água na produtividade e raízes finas em locais onde não há déficit hídrico na seca, mas parece que

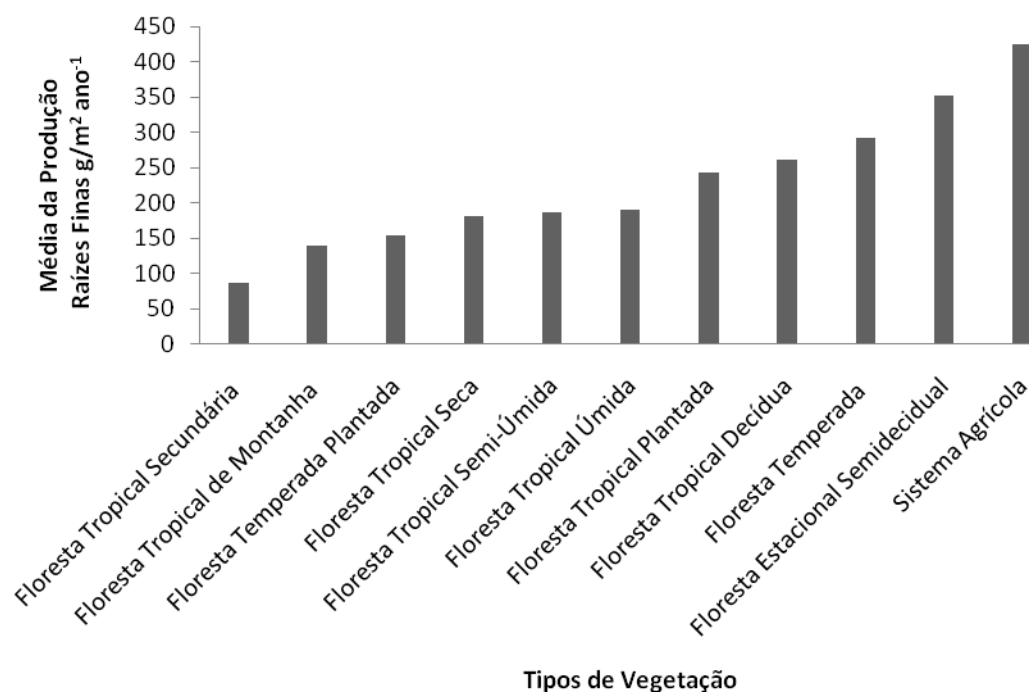


o contrário ocorre em locais onde ocorre déficit hídrico mais intenso. Yavitt; Wright (2001) irrigando uma floresta tropical úmida no Panamá não constatou nenhuma influência significativa. Lima (2008), estudando o efeito da irrigação em uma floresta tropical secundária no nordeste do Pará e Joslin; Wolfe; Hanson, (2000) estudando uma floresta temperada irrigada no EUA também não encontraram nenhuma influência significativa. No entanto, Cavalier *et al.*, (1999) estudando uma floresta semidecídua no Panamá, verificou que a irrigação aumentou a produtividade das raízes finas durante a estação seca.

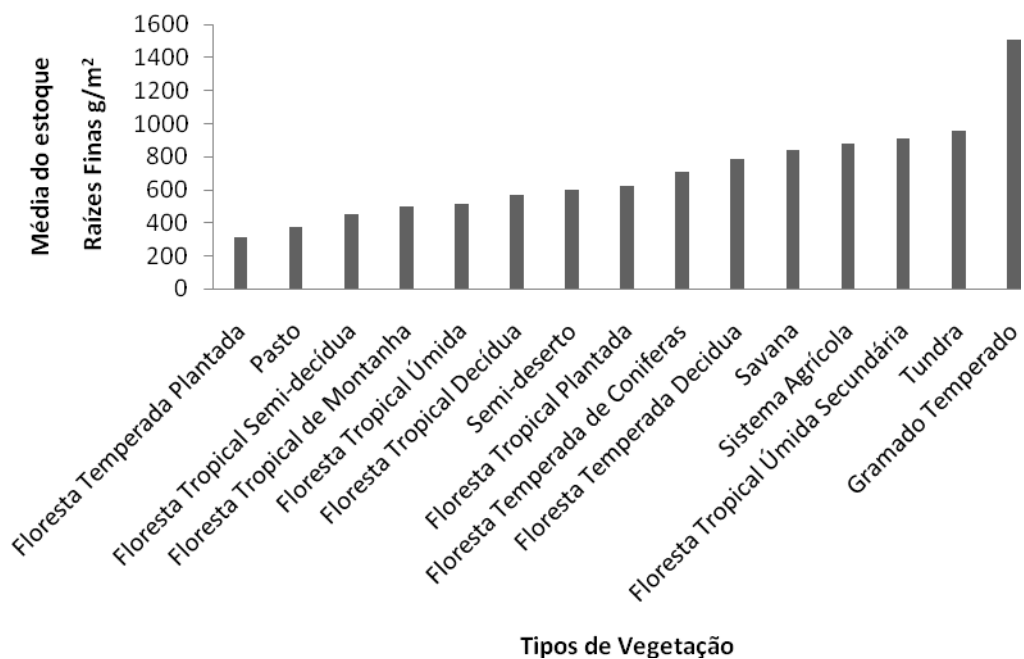
### **2.2.3. TIPO DE VEGETAÇÃO**

A quantidade (estoque) de raízes finas varia muito com o tipo de vegetação, isso ocorre principalmente devido às diferenças florísticas, uma vez que as características morfológicas e as estratégicas de absorção são muito ligadas às espécies presentes na área (LEUSCHNER *et al.*, 2004).

Em média os campos temperados possuem maior massa de raízes finas e os desertos a menor massa (Figura 1, Tabela 1). No entanto, considerando a produção anual das raízes finas, os Sistemas Agrícolas, em média, produzem mais raízes e a Floresta Tropical Secundária produz a menor quantidade (Figura 2, Tabela 2).



**Figura 1:** Média do estoque de massa de raízes finas em diferentes tipos de vegetações.



**Figura 2:** Média da produção de massa de raízes finas em diferentes tipos de vegetações.

TABELA 1: Estoque em g/m<sup>2</sup> de raízes finas em diferentes tipos de vegetação em varias localidades no mundo.

| <b>Tipo de Vegetação</b>                                   | <b>Localização</b>         | <b>Diâmetro<br/>(mm)</b> | <b>Estoque<br/>(g/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Referência</b>                |
|--|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Floresta Temperada de Coníferas                            | Dados globais              | ≤ 2                      | 600**                                | Jackson <i>et al.</i> (1997)     |
| Floresta Temperada de Coníferas                            | Dados globais              | ≤ 2                      | 820**                                | Jackson <i>et al.</i> (1997)     |
| Floresta Temperada Decídua                                 | EUA                        | ≤ 2                      | 788                                  | Joslin <i>et al.</i> (2006)      |
| Floresta Temperada Decídua                                 | Dados globais              | ≤ 2                      | 780))                                | Jackson <i>et al.</i> (1997)     |
| Floresta Temperada Plantada (40 anos)                      | Korea Central              | ≤ 2                      | 96                                   | Son & Hwang (2003)               |
| Floresta Temperada Plantada (53 anos)                      | Massachusetts, USA.        | ≤ 3                      | 510*                                 | Mcclaugherty; Aber (1982)        |
| Floresta Temperada Plantada (70 anos)                      | Sul do oeste, Georgia, EUA | ≤ 2                      | 98**                                 | Jones et al. (2003)              |
| Floresta Temperada Plantada (80 anos)                      | Massachusetts, USA.        | ≤ 3                      | 610*                                 | Mcclaugherty; Aber (1982)        |
| Floresta Temperada Plantada (jovem)                        | Próximo a Rhinelander, EUA | ≤ 1                      | 263                                  | Kinng <i>et al.</i> (2001)       |
| Floresta Tropical de Montanha                              | North, Queensland          | ≤ 5                      | 1030                                 | Maycock & Congdon (2000)         |
| Floresta Tropical de Montanha                              | Donggala, Indonésia        | ≤ 2                      | 408                                  | Leuschner <i>et al.</i> (2006)   |
| Floresta Tropical de Montanha (20000 anos)                 | Ihas no Havaí              | ≤ 2                      | 354                                  | Ostertag (2001)                  |
| Floresta Tropical de Montanha (300 anos)                   | Ihas no Havaí              | ≤ 2                      | 257                                  | Ostertag (2001)                  |
| Floresta Tropical de Montanha (4.1 x 10 <sup>6</sup> anos) | Ihas no Havaí              | ≤ 2                      | 457                                  | Ostertag (2001)                  |
| Floresta Tropical Decídua                                  | Dados globais              | ≤ 2                      | 570                                  | Jackson <i>et al.</i> (1997)     |
| Floresta Tropical Plantada (16 anos)                       | lowland, Costa Rica        | ≤ 2                      | 626                                  | Valverde-Barrantes (2007)        |
| Floresta Tropical Semi-decídua                             | North Queensland           | ≤ 5                      | 455                                  | Maycock & Congdon (2000)         |
| Floresta Tropical Úmida                                    | North Queensland           | ≤ 5                      | 1010                                 | Maycock & Congdon (2000)         |
| Floresta Tropical Úmida                                    | La Selva, Costa Rica       | ≤ 5                      | 515                                  | Gower (1987)                     |
| Floresta Tropical Úmida                                    | Dados globais              | ≤ 2                      | 570**                                | Jackson <i>et al.</i> (1997)     |
| Floresta Tropical Úmida                                    | Los Tuxtlas, México        | ≤ 4                      | 410*                                 | Jaramilo <i>et al.</i> (2003)    |
| Floresta Tropical Úmida                                    | La Planada, Colômbia       | ≤ 2                      | 482*                                 | Cavelier; Esteves; Arjona (1996) |
| Floresta Tropical Úmida                                    | La Planada, Colômbia       | 2 - 5                    | 603*                                 | Cavelier; Esteves; Arjona (1996) |
| Floresta Tropical Úmida                                    | La Selva, Costa Rica       | ≤ 2                      | 125*                                 | Espeleta e Clark (2007)          |

|  |  |          |        |                                  |
|--|--|----------|--------|----------------------------------|
| Floresta Tropical Úmida                    | La Selva, Costa Rica                     | 2 - 5    | 94*    | Espeleta e Clark (2007)          |
| Floresta Tropical Úmida                    | Terraços do rio Caquetá, Brasil/Colômbia | $\leq 5$ | 3924   | Pavlis; Jeník (2000)             |
| Floresta Tropical Úmida                    | Montanhas Andinas, Colômbia              | $\leq 5$ | 1700   | Sierra; Valle; Orrego (2003)     |
| Floresta Tropical Úmida (arenosa)          | Floresta nacional do Tapajós, Brasil     | $\leq 2$ | 292    | Silver et al. (2005)             |
| Floresta Tropical Úmida (argilosa)         | Floresta nacional do Tapajós, Brasil     | $\leq 2$ | 214    | Silver et al. (2005)             |
| Floresta Tropical Úmida (Dipterocarpaceae) | Danum, Leste da Malásia                  | $\leq 2$ | 170**  | Green et al. (2005)              |
| Floresta Tropical Úmida Secundária (jovem) | Los Tuxtlas, México                      | $\leq 4$ | 330*   | Jaramilo <i>et al.</i> (2003)    |
| Floresta Tropical úmida Secundária 10 anos | La Planada, Colômbia                     | $\leq 2$ | 248*   | Cavelier; Esteves; Arjona (1996) |
| Floresta Tropical úmida Secundária 10 anos | La Planada, Colômbia                     | 2 - 5    | 285*   | Cavelier; Esteves; Arjona (1996) |
| Floresta Tropical Úmida Secundária 18 anos | Terraços do rio Caquetá, Brasil/Colômbia | $\leq 5$ | 1491   | Pavlis; Jeník (2000)             |
| Floresta Tropical úmida Secundária 20 anos | La Planada, Colômbia                     | $\leq 2$ | 698*   | Cavelier; Esteves; Arjona (1996) |
| Floresta Tropical úmida Secundária 20 anos | La Planada, Colômbia                     | 2 - 5    | 776*   | Cavelier; Esteves; Arjona (1996) |
| Floresta Tropical Úmida Secundária 25 anos | Terraços do rio Caquetá, Brasil/Colômbia | $\leq 5$ | 1371   | Pavlis; Jeník (2000)             |
| Floresta Tropical Úmida Secundária 37 anos | Terraços do rio Caquetá, Brasil/Colômbia | $\leq 6$ | 2083   | Pavlis; Jeník (2000)             |
| Floresta Tropical Úmida Secundária 6 anos  | Terraços do rio Caquetá, Brasil/Colômbia | $\leq 7$ | 938    | Pavlis; Jeník (2000)             |
| Gramado Temperado                          | Dados globais                            | $\leq 2$ | 1510** | Jackson <i>et al.</i> (1997)     |
| Pasto                                      | Los Tuxtlas, México                      | $\leq 4$ | 300*   | Jaramilo <i>et al.</i> (2003)    |
| Pasto velho                                | Terraços do rio Caquetá, Brasil/Colômbia | $\leq 5$ | 455    | Pavlis; Jeník (2000)             |
| Savana                                     | Dados globais                            | $\leq 2$ | 990**  | Jackson <i>et al.</i> (1997)     |
| Savana (100 anos)                          | Litoral da Venezuela                     | -        | 685    | Barger <i>et al.</i> (2002)      |
| Semi-deserto                               | Puebla, México                           | $\leq 3$ | 602    | Pavon & Briones, 2000            |
| Sistema Agrícola                           | Terraços do rio Caquetá, Brasil/Colômbia | $\leq 5$ | 878    | Pavlis; Jeník (2000)             |
| Floresta Tropical de Montanha              | Donggala, Indonésia                      | $\leq 2$ | 408    | Leuschner <i>et al.</i> (2006)   |
| Tundra                                     | Dados globais                            | $\leq 3$ | 960    | Jackson <i>et al.</i> (1997)     |

\* transformado de T/há para g/m<sup>2</sup>

\*\* transformado de Kg/há para g/m<sup>3</sup>

**Tabela 2.** Produção em  $\text{g/m}^2 \text{ ano}^{-1}$  de raízes finas em diferentes tipos de vegetação em varias localidades no mundo.

| Tipo de Vegetação                                       | Localização                          | Diâmetro<br>(mm) | Produção<br>( $\text{g/m}^2 \text{ ano}^{-1}$ ) | Referência                         |
|---|--------------------------------------|------------------|---|------------------------------------|
| Floresta Estacional Semidecidual                        | Barro Colorado, Panamá               | $\leq 2$         | 352 *   | Cavelier (1999)                    |
| Floresta Temperada                                      | New Hampshire, USA                   | $\leq 1$         | 293   | Tierney & Fahey (2001)             |
| Floresta Temperada Plantada                             | Geórgia, EUA                         | $\leq 2$         | 98  | Jones <i>et al.</i> , (2003)       |
| Floresta Temperada Plantada (40 anos)                   | Korea Central                        | $\leq 2$         | 210,3*  | Son & Hwang (2003)                 |
| Floresta Tropical de Montanha (20000 anos)              | Ihas no Havaí                        | $\leq 2$         | 169   | Ostertag (2001)                    |
| Floresta Tropical de Montanha (300 anos)                | Ihas no Havaí                        | $\leq 2$         | 173   | Ostertag (2001)                    |
| Floresta Tropical de Montanha ( $4.1 \times 10^6$ anos) | Ihas no Havaí                        | $\leq 2$         | 75  | Ostertag (2001)                    |
| Floresta Tropical Decídua                               | Kodayar, Sul da Índia                | $\leq 2$         | 262,1   | Sudarapandian & Swami (1996)       |
| Floresta Tropical Plantada                              | Peoples, Ethiopia                    | $\leq 2$         | 243,85  | Zewdie (2008)                      |
| Floresta Tropical Seca                                  | LaHuerta, Jalisco, México            | $\leq 1$         | 180,5   | Castellanos <i>et al.</i> , (2001) |
| Floresta Tropical Secundária (10 anos)                  | Castanhal, Pará, Brasil              | $\leq 2$         | 88,39   | Lima (2008)                        |
| Floresta Tropical Secundária (20 anos)                  | Castanhal, Pará, Brasil              | $\leq 2$         | 86,03   | Lima (2008)                        |
| Floresta Tropical Semi-úmida                            | Kodayar, Sul da Índia                | $\leq 2$         | 185,93  | Sudarapandian & Swami (1996)       |
| Floresta tropival humida (Arenosa)                      | Floresta nacional do Tapajós, Brasil | $\leq 2$         | 201,5   | Silver <i>et al.</i> , (2005)      |
| Floresta tropival humida (Argilosa)                     | Floresta nacional do Tapajós, Brasil | $\leq 2$         | 180,5   | Silver <i>et al.</i> , (2005)      |
| Sistema Agrícola Semiarido                              | Pernambuco, Brasil                   | $\leq 2$         | 424*  | Lessa; Anderson. Moir (1996)       |

\* Transformado de  $\text{kg/ha ano}^{-1}$  para  $\text{g/m}^2 \text{ ano}^{-1}$ .

#### 2.2.4. A SUCESSÃO E OS DIFERENTES TIPOS DE USO DA TERRA

Durante muito tempo as florestas do mundo sofrem com o desmatamento para suprir a necessidade do homem. Na Amazônia é muito comum que ocorra primeiro a exploração de produtos madeireiros e não madeireiros e depois vem a implantação de roça e pastagens, que muitas vezes são abandonados e ali se inicia um processo sucessional de regeneração florestal (KASS; SOMARRIBA 1999). A área coberta por florestas secundárias na Amazônia tem se tornado cada vez maior (NEEF 2005, NEEF et al 2006; ). O estágio sucessional também pode influenciar na quantidade de raízes finas, uma vez que a composição florística, condições do solo e microclima também mudam durante a sucessão.

Jaramillo; Hernández; Kauffman, (2003), comparando o estoque de raízes finas entre florestas tropicais primárias, florestas tropicais em diferentes estágios sucessionais formadas após a implantação de pastos e áreas de pastagens derivadas de florestas primárias no México, verificou que a biomassa de raízes finas é maior em locais de florestas primárias e constatou que áreas de pastagens apresentam menor biomassa de raízes finas. Hertel; Leuschne; Holscher, (2003) estudando florestas tropicais montanhosas secundárias em diferentes estágios sucessionais formadas após a implantação de roças na Costa Rica, encontrou maior biomassa de raízes finas em florestas secundárias mais antigas. Lima (2008), avaliando a produção de raízes finas em áreas de 10 e 18 anos, constatou que não houve diferença significativa entre elas.

A maior biomassa de raízes finas encontradas em florestas primárias e florestas mais antigas podem ser explicadas pela maior dificuldade na absorção de nutrientes, forçando assim ao aumento da quantidade de raízes finas, aumentando a área específica para a absorção dos recursos (LEUSCHNER *et al.*, 2004). Diferente das florestas mais jovens, onde a absorção de água e nutrientes é maior e melhor, devido à ótima associação entre bactérias e fungos, não havendo a necessidade do aumento da biomassa de raízes finas (HERTEL; LEUSCHNE; HOLSCHEER. 2003).

O uso da técnica convencional de corte e queima no processo de conversão de floresta em pastos e cultivos agrícolas causam de imediato uma alta perda de biomassa de raízes finas que variam entre 56% e 63% (LESSA; ANDERSON; MOIR, 1996; CASTELLANOS, 2001). No entanto, com o aumento da radiação e da disponibilidade de água no solo, causada pela perda de cobertura vegetal a decomposição das raízes finas mortas e de outras matérias orgânicas, aumentam consideravelmente a disponibilidade de nutrientes no solo, fazendo com

que a cultura implantada após a técnica de corte e queima recupere rapidamente a quantidade de biomassa de raízes finas (LESSA; ANDERSON; MOIR, 1996; CASTELLANOS, 2001).

Também em áreas florestais que sofreram distúrbios antrópicos podemos encontrar diferentes respostas quanto ao desenvolvimento das raízes finas. Leuschner *et al.*, (2006), estudando a produtividade de raízes finas sob influência do tamanho das clareiras formadas após diferentes intensidades de exploração de madeira, em floresta tropical na Indonésia, constatou que quanto maior o tamanho da clareira menor é o estoque de raízes finas. O mesmo padrão foi encontrado para raízes finas em florestas temperadas após a exploração de madeira submetida a diferentes intensidades de corte nos Estados Unidos da América (JONES *et al.*, 2003).

O estoque de raízes finas é menor em florestas temperadas intactas, do que em florestas temperadas que sofreram exploração seletiva de madeira (JONES *et al.*, 2003). Em uma floresta tropical úmida que sofreu exploração seletiva de madeira, os resultados foram diferentes, sendo maior nas regiões de clareiras e menor nas regiões de florestas não perturbadas, conforme apresentado por Sudarapandian & Swami (1996) em uma das quatro florestas tropicais estudadas no sul da Índia.

Essa contradição pode ser explicada pela mudança em alguns fatores edafo-climáticos que ocorrem após a abertura de clareiras, como o aumento da disponibilidade de água, radiação e da temperatura, modificando as condições físico-químicas do solo (CAVELIER; ESTEVES; ARJONA *et al.*, 1996; LEUSCHNER *et al.*, 2006). Outro fator que pode influenciar no desenvolvimento de raízes finas em áreas de clareiras é a composição das espécies. Em clareiras, onde no seu interior há uma grande dominância de espécies herbáceas e arbustivas a biomassa de raízes finas é maior, devido à grande produção de raízes finas dessas espécies (SUDARAPANDIAN & SWAMI, 1996).

Quando se trata de impactos naturais em florestais, como queda de árvores causadas por raios, ventanias, deslizamento de terra ou até mesmo morte natural, a biomassa de raízes finas quase não é alterada, pois as raízes finas possuem uma ótima plasticidade, se recuperando rapidamente diante desses distúrbios é o que mostram os estudos desenvolvidos por Cavelier; Esteves; Arjona. (1996) em uma floresta tropical úmida na Colômbia, Jones *et al.*, (2003) em florestas temperadas na Geórgia nos EUA e Zangaro *et al.*, (2007) em uma floresta tropical no sul do Brasil.

### 2.3. DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DAS RAÍZES FINAS NO SOLO

A densidade de raízes finas decresce exponencialmente com a profundidade do solo; mais que 50% das raízes finas são encontradas nos primeiros 30 cm do solo (JACKSON *et al.*, 1996). Isso é uma característica global para a maioria dos tipos de vegetação, incluindo as florestas temperadas (MCCLAUGHERTY & ABER, 1982; LOPES *et al.*, 1998; LEUSCHNER *et al.*, 2004; JOSLIN *et al.*, 2006), florestas temperadas ripárias (TUFEKCIOGLU *et al.*, 1999; TOLEDO & KAUFFMAN, 2001), florestas tropicais (GOWER, 1987; CAVALLIER, 1996; SUDARAPANDIAN & SWAMI, 1996; MAYCOCK & CONGDON, 2000; OSTERTAG, 2001; JARAMILO; HERNANDEZ; KAUFFMAN, 2003; CATTANIO *et al.*, 2004; LEUSCHNER *et al.*, 2006; ESPELETA & CLARK, 2007), cerrado (OLIVEIRA *et al.*, 2005), semi-deserto (PAVON & BRIONES, 2000), florestas temperadas plantadas (DROST & WILSON, 2003) e florestas tropicais plantadas (AKINNIFESI; KANG; LADIPO, 1999; MARTINS *et al.*, 2004; VALVERDE-BARRANTES; RAICH; RUSSELL, 2007 e ZEWDIE; FETENE; OLSSON, 2008).

A distribuição vertical da massa de raízes fina no solo está totalmente relacionada com a disponibilidade de nutrientes, ou seja, nas camadas mais superficiais a quantidade de massa morta é maior, com isso a decomposição também é maior, consequentemente a disponibilizando mais nutrientes (TAPIA-CORAL *et al.*, 2005). Essa concentração de nutrientes diminui com a profundidade e consequentemente a biomassa de raízes finas também diminuem (MCCLAUGHERTY & ABER, 1982; GOWER, 1987; ESPELETA & CLARK, 2007; YAVITTI; WRIGHT, 2001; VALVERDE-BARRANTES; RAICH; RUSSELL, 2007).

Em locais com secas severas a aquisição da água se torna o fator mais importante para as raízes finas do que a aquisição de nutrientes (VISALAKSHI, 1994; BURTON; PREGITZER; HENDRICK, 2000), com isso as raízes finas adotam estratégias diferenciadas para absorção de água (OLIVEIRA *et al.*, 2005). As raízes finas aumentam o seu diâmetro com o objetivo de obter resistência mecânica capaz de perfurar as partes mais profundas e compactas do solo em busca de água (LOPES *et al.*, 1998; TOLEDO & KAUFFMAN, 2001); como consequência a biomassa de raízes finas se concentra em locais mais profundos do solo. Essas raízes também possuem um período de vida mais longo do que as raízes mais superficiais (BURTON; PREGITZER; HENDRICK, 2000).



## 2.4. CONTRIBUIÇÃO DAS RAÍZES FINAS PARA A CICLAGEM DE NUTRIENTES

A principal entrada de nutrientes nos solos florestais é através da ciclagem de nutrientes, representando um componente de importância vital para a maioria dos ecossistemas florestais. A matéria orgânica morta da planta contribui para formação dos humos que se estende nas camadas superficiais do solo e é decomposto pelos microorganismos liberando nutrientes minerais para as plantas (TAPIA-CORAL *et al.*, 2005). As raízes finas são um dos principais componentes da matéria orgânica disponível no processo de ciclagem, pois a mesma é responsável por 33% da produtividade primária líquida anual dos vegetais (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997).

Mcclaugherty & Aber (1982), estudando a decomposição da serapilheira em uma floresta temperada nos EUA, constatou que 49% do nitrogênio disponível no solo em florestas intactas era de responsabilidade das raízes finas e no mesmo experimento em áreas de floresta plantadas as raízes finas contribuíram com 37% do nitrogênio disponível. Lessa; Anderson; Moir (1996), estudando raízes finas em sistemas agrícolas de corte e queima no semi-árido brasileiro, verificou que a biomassa de raízes finas foram responsáveis pela liberação de 50 a 60% do nitrogênio e fósforo e 80 a 90% do Ca e Mg do total da matéria orgânica, após o corte e queima da floresta primária liberando no total 88kg/há de nitrogênio para o solo. Klopatek (2007) estudando a contribuição das raízes finas e litterfall para a ciclagem de nutrientes em uma floresta secundária em diferentes estágios sucessionais no sul de Washington sulista nos Estados Unidos constatou que a relação anual entre a produção raízes fina e a produção de litterfall é de 3,45 g/m<sup>2</sup> para floresta secundária jovem; 1,5 g/m<sup>2</sup> para floresta secundária intermediária e 2,35 g/m<sup>2</sup> para floresta primária.

A decomposição das raízes finas pode variar dependendo de diversos fatores, como o clima e a composição química das próprias raízes finas (SILVER & MIYA, 2001). Estudos mostram que quanto mais baixa é a relação entre C e N, mais baixa é a concentração de lignina; celulose; hemicelulose; tanino e mais alta é a concentração de nitrogênio e fósforo (DORNBUSH; ISENHART; RAICH, 2002). A relação ótima entre C e N é de aproximadamente 25, mas existem fungos e bactérias que podem decompor rapidamente as raízes finas com relações de C e N entre 25 a 75, porém a mineralização do nitrogênio fica comprometida com o aumento dessa relação. As relações muito altas entre C e N dificultam a decomposição de raízes finas, devido à grande quantidade de substâncias lenhosas estrutural, como lignina, celulose, hemicelulose e tanino (SILVER & MIYA, 2001).

O tamanho do diâmetro influencia diretamente na decomposição das raízes finas, ou seja, à medida que as raízes engrossam a porcentagem de hemicelulose, celulose, lignina e carbono aumentam e a quantidade de nutrientes como nitrogênio diminui; por consequência, a decomposição é dificultada, então as raízes finas menores que 1 mm se decompõe mais rapidamente, disponibilizando mais nutrientes para o solo (GORDON & JACKSON, 2000; SILVER & MIYA, 2001; DORNBUSH; ISENHART; RAICH, 2002).

As raízes finas contribuem com muito carbono e nutrientes para o solo. Jackson; Mooney; Schulze (1997) estudando a composição química nutricional no interior das raízes finas em 11 biomassa (floresta tropical úmida, floresta tropical sazonal, floresta temperada dominada por coníferas, floresta temperada decídua, floresta boreal, bosques, savana, gramado temperado, tundra, deserto e cultivos agrícolas), encontraram uma proporção global de C:N:P igual a 450:11:1, porém não analisou a proporção de C:N:P no interior das raízes finas nos biomas individualmente. Gordon & Jackson (2000) estudando biomassa de florestas tropicais, florestas temperadas, florestas boreais e sistema de tundra, encontraram uma proporção total de C:N:P igual a 522:12: 1 para raízes muito finas (menores que 2 mm) e para raízes entre 2 e 5 mm encontrou uma proporção de 920:12:1, esse trabalho também não analisou a proporção de C:N:P de raízes finas em cada bioma.

Klopatek (2007) estudando a contribuição nutricional das raízes finas em uma floresta secundária temperada em três idades sucessionais diferentes nos EUA verificou que a relação entre C e N aumentava com a idade sucessional da floresta. King *et al.*, (2005), estudando a química das raízes finas de 2 espécies de árvores de floresta temperadas nos EUA submetidas a condições diferentes de nutrientes no solo e disponibilidade de CO<sub>2</sub> no ar, mostrou que a relação C:N era menor em áreas mais ricas em nutrientes e verificou também que condições de maior concentração de CO<sub>2</sub> no ar não influenciava na química estrutural das raízes finas (lignina, celulose, hemicelulose e tanino).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. ÁREA DE ESTUDO**

O trabalho foi realizado no campo experimental da Empresa Brasileira de Agro Pecuária (EMBRAPA), no Km 30 da Rodovia PA – 150, no município de Mojú – PA, em uma área de 200 ha, coberta por uma floresta tropical densa de terra firme, situada entre as coordenadas

geográficas de 2° 07' 30'' e 2° 12' 06'' de latitude sul e 48° 46' 57'' e 48° 48' 30'' de longitude a oeste do meridiano de Greenwich, a qual sofreu exploração seletiva em menus Outubro de 1997 (Figura 3).

O clima é Ami de acordo a classificação de Köppen, com temperatura média anual entre 25°C e 27°C e precipitação anual entre 2000 mm e 3000 mm, com distribuição irregular, ocorrendo pequeno período seco (SANTOS *et al.*, 1985); O relevo apresenta-se plano, com pequenos declives variando de 0 a 3%. O solo predominante é Latossolo Amarelo, com diferentes texturas ocorrendo também Podzólicos Vermelhoamarelos, Glei Pouco Húmico e Plintossolos (SANTOS *et al.*, 1985).

Estudos sobre a regeneração natural e de espécies plantadas após a exploração tem sido conduzidos na área e podem fornecer maiores detalhes do local (NEMER; JARDIM; SERRÃO, 2002; SERRÃO; JARDIM; NEMER, 2003; NEMER & JARDIM, 2004; JARDIM & VASCONCELOS, 2006; JARDIM; SERRÃO; NEMER, 2007; JARDIM; SENA; MIRANDA, 2008).

### **3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL**

Para analisar a influência das clareiras formadas por intervenção antrópica (FEX) no estoque de massa de raízes finas, foi selecionado um sítio que sofreu exploração seletiva de madeira no período de outubro de 1993, quatorze anos antes da coleta dos dados apresentados neste trabalho. Nesse sítio foram escolhidas cinco clareiras originadas após a retirada de árvores durante a exploração. O tamanho médio das clareiras exploradas foi de 489 m<sup>2</sup> (Tabela3). Em cada clareira foram implantadas nove parcelas de 10 x 10 metros: uma no centro da clareira e duas nas direções norte, sul, leste e oeste, no sentido da clareira para o interior da floresta (Figura 4). Em cada parcela foram coletadas randomicamente três amostras de solo, em três diferentes profundidades (0 - 10cm, 10 - 20cm e 20 - 30cm), perfazendo um total de 81 amostras por clareira.

Para analisar a influência das clareiras naturais (CLN) no estoque de massa de raízes finas foi selecionado um sítio que não sofreu intervenção antrópica, no qual foram escolhidas aleatoriamente cinco clareiras naturais de aproximadamente 203m<sup>2</sup>(Tabela3), formadas após a queda natural de árvores. Em cada clareira foram coletadas aleatoriamente três amostras de solo, em quatro diferentes profundidades (0 - 10cm, 10 - 20cm, 20 - 30cm e 30 - 40cm) na região da copa, tronco e raiz das árvores caídas, perfazendo um total de 36 amostras por clareira natural (Figura 5).

Como testemunhas, foram selecionadas cinco parcelas de 10 x 10m, localizadas aleatoriamente em áreas intactas (FLI) próximo as áreas exploradas, onde foram coletadas aleatoriamente três amostras de solo nas mesmas profundidades das clareiras naturais, obtendo assim um total de 12 amostras por parcela.

Para avaliar a relação entre a massa de raízes finas com abundância de árvores, foram mensurados todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) maior que 5 cm nas parcelas testemunhas e naquelas que sofreram exploração seletiva de madeira. Não foi possível mensurar o diâmetro nas áreas de clareiras naturais por conta da dificuldade de implantar parcelas nas regiões de copa, tronco e raiz das árvores tombadas.

### **3.3. AVALIAÇÃO DAS RAÍZES FINAS**

As amostras de solo foram coletadas com a ajuda de um trado de 10cm de altura por 5cm de diâmetro, perfazendo  $196 \text{ cm}^3$  de volume, posteriormente essas amostras foram armazenadas em sacos plásticos com a sua devida identificação e acondicionadas sob refrigeração a  $4^\circ\text{C}$ , onde permaneceram até a triagem das raízes no laboratório. As amostras de solo foram lavadas com água e peneiradas em malha de 0,5mm de diâmetro até permanecerem somente as raízes e fragmentos orgânicos. As raízes foram separadas manualmente e categorizadas em raízes muito finas (diâmetro  $\leq 1\text{mm}$ ), raízes finas ( $1 \text{ mm} < \text{diâmetro} \leq 5\text{mm}$ ) e raízes mortas ou necromassa (escuras e quebradiças). Após a separação, as raízes foram armazenadas em sacos de papel e depois secas em estufas a  $70^\circ\text{C}$  por 48 horas, e pesadas em uma balança de precisão (0,0001) para a obtenção da massa seca (Figura 6).

### **3.4. ANÁLISE DOS DADOS**

A densidade de raízes finas e muito finas foi obtida através da razão da massa pela área da base do cilindro ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ). Todos os dados foram transformados para  $\text{g}.\text{m}^{-2}$  e são apresentados como média  $\pm$  erro padrão, além do coeficiente de variação (CV), quando necessário.

Foi utilizada massa encontrada no volume total do solo (0 - 10cm + 10 - 20cm + 20 - 30cm =  $588\text{cm}^3$ ) para testar as três primeiras hipóteses, utilizando para isso o teste não paramétrico Kruskal-Wallis (Teste H). A diminuição da massa de raízes em relação à profundidade do solo também foi testada através da análise de variância não paramétrica de

Kruskal-Wallis (Teste H). A comparação entre as médias foi realizada com o teste Dunn a uma probabilidade de 1% de erro.

Como alguns estudos realizados na área sugerem a influência das direções Norte, Sul, Leste e Oeste sobre o crescimento de algumas plantas (NEMER; JARDIM; SERRÃO, 2002; SERRÃO; JARDIM; NEMER, 2003; NEMER & JARDIM, 2004; JARDIM & VASCONCELOS, 2006; JARDIM; SERRÃO; NEMER, 2007; JARDIM; SENA; MIRANDA, 2008), foram testados também a influência dessas direções na massa das raízes finas. Para isso utilizamos a análise de variância não paramétrica de Kruskal-Wallis (Teste H). A comparação entre as médias foi realizada com o teste Dunn a uma probabilidade de 1% de erro. A mesma análise foi utilizada para verificar as diferenças entre as massas de raízes finas encontradas nas diferentes regiões das clareiras naturais (áreas da copa, tronco e raiz).

Para análise da relação linear entre a massa de raízes finas e os dois parâmetros de densidade (número de indivíduos/ha e área basal =  $\sum DAP^2 \pi / 4 / ha$ ), foi utilizada uma análise de regressão linear simples com uma probabilidade de 5% de erro.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 CLAREIRAS FORMADAS POR EXPLORAÇÃO DE MADEIRA, CLAREIRAS NATURAIS E FLORESTA INTACTA**

A biomassa de raízes muito finas em áreas de clareiras naturais e floresta intacta, não apresentaram diferença significativa entre si, porém apresentaram maiores biomassa do que as áreas de clareiras formadas pela exploração seletiva de madeira (CLN:  $\bar{X} = 399,68$ ; EPM=  $\pm 18,49$  g/m<sup>2</sup>; CV= 31,04%; FLI:  $\bar{X} = 460,53$ ; EPM=  $\pm 23,05$  g/m<sup>2</sup>; CV= 19,39%; FEX:  $\bar{X} = 324,85$ ; EPM=  $\pm 9,65$  g/m<sup>2</sup>; CV= 34,53%, figura 7).

A biomassa de raízes finas não apresentou diferença significativa entre as áreas de floresta explorada ( $\bar{X} = 315,97$ ; EPM=  $\pm 14,89$  g/m<sup>2</sup>; CV= 54,75%), áreas de clareiras naturais ( $\bar{X} = 347,77$ ; EPM=  $\pm 36,24$  g/m<sup>2</sup>; CV= 69,91%) e áreas de floresta intactas ( $\bar{X} = 453,26$ ; EPM=  $\pm 58,27$  g/m<sup>2</sup>; CV= 50,13%). O mesmo ocorreu com a necromassa (FEX:  $\bar{X} = 22,54$  EPM=  $\pm 23,05$  g/m<sup>2</sup>; CV= 100%; CLN:  $\bar{X} = 30,82$ ; EPM=  $\pm 4,33$  g/m<sup>2</sup>; CV= 94,45%; FLI:  $\bar{X} = 16,26$ ; EPM=  $\pm 2,61$  g/m<sup>2</sup>; CV= 62,32%). Não houve a ocorrência de raízes finas mortas nas unidades amostrais (Figura 7).

Foi constatado que a biomassa de raízes muito finas foi significativamente maior no centro da clareira, do que na sua borda ou mesmo a 10 metros de distância (H=16,16 - Centro:  $\bar{X} = 440,01$ ; EPM=  $\pm 37,67$  g/m<sup>2</sup>; CV= 33,16%; Borda:  $\bar{X} = 303,82$ ; EPM=  $\pm 14,89$  g/m<sup>2</sup>; CV= 37,97%; 10 m de distância:  $\bar{X} = 318,15$ ; EPM=  $\pm 10,28$  g/m<sup>2</sup>; CV= 25,05%). Não houve diferença na biomassa de raízes finas entre as distâncias e o centro da clareira, o mesmo aconteceu com a necromassa de raízes muito finas (Tabela 4).

O centro da clareira apresentou maior biomassa de raízes muito finas do que as regiões norte e oeste, que por sua vez não mostraram diferenças entre as regiões sul e leste (H=22,75; Centro:  $\bar{X} = 440,01$ ; EPM  $\pm 37,67$  g/m<sup>2</sup>; CV= 33,16%; Norte:  $\bar{X} = 315,78$  SD=  $\pm 16,53$  g/m<sup>2</sup>; CV= 28,68%; Oeste:  $\bar{X} = 278,82$ ; EPM=  $\pm 23,83$ ; 46,81; Sul:  $\bar{X} = 319,78$ ; EPM  $\pm 15,02$  g/m<sup>2</sup>; CV= 25,73%; Leste:  $\bar{X} = 329,55$ ; EPM=  $\pm 14,91$ ; CV= 24,78%). As biomassas das raízes finas vivas e a necromassa não apresentaram diferenças entre o centro e suas regiões adjacentes (Tabela 5).

Com relação ao efeito das diferentes regiões de uma clareira natural sobre a biomassa de raízes finas, muito finas e necromassa de raízes finas, foram constatadas que não houve diferença significativa entre as áreas de copa; tronco e raiz, que também não apresentaram diferença significativa quando comparados com as áreas de floresta intacta (Tabela 6).

## **4.2. DENSIDADE DE RAÍZES FINAS COM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE DO SOLO**

A biomassa de raízes muito finas diminuiu significativamente com a profundidade do solo, só não havendo diferença entre as duas camadas mais profundas (0-10cm:  $\bar{X} = 212,47$ ; EPM  $\pm 7,28$ g/m<sup>2</sup>; CV= 47,9%; 10-20cm:  $\bar{X} = 79,35$ , EPM=  $\pm 2,52$  g/m<sup>2</sup>; CV= 44,36%; 20-30cm:  $\bar{X} = 60,66$ ; EPM  $\pm 2,14$  g/m<sup>2</sup>; CV= 49,33%; 30-40cm:  $\bar{X} = 48,13$ ; EPM=  $\pm 2,99$  g/m<sup>2</sup>; CV= 48,22%).

O mesmo resultado foi encontrado para a biomassa de raízes finas (0-10cm:  $\bar{X} = 195,68$ ; EPM=  $\pm 10,87$ g/m<sup>2</sup>; CV= 77,55%; 10-20cm:  $\bar{X} = 84,4$ ; EPM=  $\pm 6,46$  g/m<sup>2</sup>; CV= 106,94%; 20-30cm:  $\bar{X} = 57,29$ ; EPM  $\pm 5,16$ g/m<sup>2</sup>; CV= 125,75%; 30-40cm:  $\bar{X} = 41,35$ ; EPM=  $\pm 7,75$  g/m<sup>2</sup>; CV= 145,96%).

Para necromassa a maior quantidade foi na camada mais superficial do solo, não havendo diferença significativa entre as demais camadas (0-10cm:  $\bar{X} = 15,8$ ; EPM=  $\pm$

1,41g/m<sup>2</sup>; CV= 124,93%; 10-20cm:  $\bar{X}$  = 5,22; EPM=  $\pm$  0,63 g/m<sup>2</sup>; CV= 169,62%; 20-30cm:  $\bar{X}$  = 3,75; EPM=  $\pm$  0,38 g/m<sup>2</sup>; CV= 141,3%; 30-40cm:  $\bar{X}$  = 2,99; EPM=  $\pm$  0,54 g/m<sup>2</sup>; CV= 140,98%, Figura 8).

#### **4.3. RELAÇÃO ENTRE BIOMASSA DE RAÍZES FINAS E A DENSIDADE DE ÁRVORES.**

Não houve relação significativa entre a biomassa de raízes finas e o número de árvores (p=0.186), assim como não houve relação significativa entre a biomassa de raízes finas e a área basal de árvores (p=0.523). A necromassa de raízes finas, também não apresentou relação significativa, tanto para o número de árvores, quanto para área basal de árvores: p=0.252 e 0,147 respectivamente (Figura 9).

### **5. DISCUSSÃO**

O maior valor da biomassa de raízes finas encontrado neste estudo a 40cm de profundidade do solo, corresponde com os resultados encontrados em outros estudos realizados em floresta tropicais primárias úmidas de terra firme na Amazônia informada por Cavelier; Esteves; Arjona (1996) em La Planada, Colômbia, que encontraram valores de biomassa de raízes finas, que variaram entre 462 e 603g/m<sup>2</sup>, porém o estudo realizado por Silver *et al.*, (2005) na floresta nacional do Tapajós, Brasil, apresentou valores inferiores de biomassa de raízes finas variando entre 40 e 53 g/m<sup>2</sup>. Já Sierra; Valle; Orrego (2003) estudando estoque de raízes finas em uma floresta tropical primária de terra firme na Colômbia encontrou valores bem superiores (1700g/m<sup>2</sup>) ao presente estudo.

Em se tratando da necromassa, não houve nenhuma ocorrência de raízes finas mortas nas amostras levantadas em todo o experimento, isso pode ter acontecido por conta da maior longevidade dessas raízes, ou seja, quanto maior o diâmetro, maior é a sobrevivência das mesmas (FREITAS; BARROS; CARNEIRO, 2008). Já a necromassa de raízes muito finas variaram de 16 a 34 g/m<sup>2</sup>, semelhantes aos resultados encontrados por Espeleta e Clark (2007) em uma floresta tropical úmida primária localizada em La selva, Costa Ricas (17 g/m<sup>2</sup>), já Silver *et al.*, (2005) encontraram resultados bem superiores na floresta tropical úmida primária de Tucuruí, Pará, Brasil (148 a 248 g/m<sup>2</sup>).

A exploração seletiva de madeira influenciou de forma negativa no estoque de biomassa de raízes muito finas e finas. Outros estudos também encontraram maior biomassa de raízes finas em áreas que não sofreram exploração do que em áreas que sofreram intervenção antrópica, como Leuschner *et al.*, (2006) em uma floresta tropical da Indonésia, Sudarapandian & Swami (1996), somente para biomassa de raízes finas em três sítios de florestas tropicais que sofreram diferentes tipos de exploração no sul da Índia e Deslow; Allison; Sanford (1998) em uma floresta tropical úmida na Costa Rica.

O fato de a floresta intacta apresentar maior massa de raízes muito finas e raízes finas do que a floresta explorada pode ser atribuída às melhores condições microclimáticas no interior das florestas intactas proporcionadas pelo maior fechamento do dossel diferente das áreas exploradas, onde há um grande aumento da temperatura no solo durante o dia e uma baixa temperatura durante a noite, essa grande variação prejudica a respiração e diminui a capacidade de acúmulo de massa pelas raízes finas (LEUSCHNER *et al.*, 2006). Outra questão é a precipitação interna, que é bem maior na floresta intacta, do que na floresta explorada, o que favorece a umidade no interior da floresta melhorando assim a umidade do solo acelerando a decomposição da matéria morta e consequentemente melhorando o desenvolvimento das raízes finas (FERREIRA; LUIZÃO; DALLARROSA, 2005).

A disponibilidade de nutrientes no solo também pode ter influenciado na maior massa de raízes finas e muito finas no interior da floresta intacta, segundo Ferreira *et al.*, 2001 e Leuschner *et al.*, 2006, logo após a exploração seletiva de madeira a quantidade de nutrientes disponíveis no solo é elevada, devido o aumento da quantidade de resíduo que permanece na floresta remanescente, a medida que tempo passa a disponibilidade de nutrientes diminuem, devido o desaparecimento dos resíduos por decomposição (DESLOW; ALLISON; SANFORD, 1998). Leuschner *et al.*, (2006) afirma que a floresta explorada não tem a mesma capacidade de produção de matéria orgânica do que a floresta intacta, onde possui uma grande densidade de matéria morta no solo e a ciclagem de nutrientes é mais constante e estável, favorecendo assim o desenvolvimento das raízes finas.

As clareiras naturais não alteraram o estoque de biomassa de raízes muito finas, finas e necromassa. Em contraste com nossos resultados, Cavelier; Esteves; Arjona. (1996) estudando biomassa de raízes finas em uma floresta tropical úmida na Colômbia, encontrou menor biomassa em clareiras naturais do que no interior da floresta intacta, porém as clareiras em média eram bem maiores do que as clareiras do nosso estudo (400m<sup>2</sup>, 200m<sup>2</sup> respectivamente). O tamanho da clareira pode influenciar diretamente na biomassa de raízes finas, ou seja, em clareiras maiores além de provocar grandes variações na temperatura do



solo, também causa a diminuição da umidade do solo, interferindo negativamente no estoque de raízes finas como já foi dito anteriormente. Já nas clareiras menores os crescimentos laterais das copas das árvores remanescentes garantem o fechamento rápido do dossel e evita as modificações severas no solo, por consequência disto a recuperação da biomassa de raízes finas são mais rápida garantida pela a sua alta plasticidade (JONES *et al.*, 2003; ZANGARO *et al.*, 2007).

O centro da clareira explorada obteve maior biomassa de raízes muito finas. Em contraste com o nosso estudo, Campbell; Leena; Messier (1998), estudando uma floresta temperada boreal em Quebec no Canadá, verificou que há uma tendência de menor biomassa de raízes finas no centro das clareiras formadas pela exploração de madeira do que as áreas adjacentes.

O maior estoque de biomassa de raízes finas no centro da clareira explorada pode estar relacionado com da abertura do dossel em alguns locais, principalmente nas regiões norte, oeste e a 10 metros de distância das bordas das clareiras ocasionadas pela recente queda natural de árvores. Essas clareiras naturais favorecem o aumento da densidade de ervas, arbustos e cipós, ampliando a competição com as árvores remanescentes e consequentemente influenciando de forma negativa no estoque de raízes finas (SUDARAPANDIAN & SWAMI 1996).

O fato de somente as raízes muito finas apresentarem diferença significativa pode estar relacionado com a questão da sensibilidade das mesmas de responderem rapidamente a certas mudanças ambientais, diferentemente das raízes finas, o qual possui uma quantidade bem maior de químicas estruturais como, lignina, celulose, hemicelulose e taninos, garantindo assim uma maior resistência a pequenas alterações ambientais (GORDON & JACKSON, 2000; SILVER & MIYA, 2001; DORNBUSH *et al.*, 2002).

A igualdade de biomassa de raízes finas e necromassa nas zonas de copa, tronco e raiz das árvores tombadas, também foram encontradas por Cavelier; Esteves; Arjona. (1996) em uma floresta tropical na Colômbia. Esse resultado pode ter acontecido por conta do recente tombamento das árvores, provavelmente as folhas fornecidas pelas copas o tronco e as raízes das árvores tombadas, ainda não disponibilizaram nutrientes suficientes naquele momento para atrair as raízes finas (STEWART, 2000; BLAIR & PERFECTO, 2001; OSTERTAG, 2001).

As raízes muito finas, finas e necromassa de raízes muito finas, apresentaram 57,23%; 55,89%; 60,48% de massa nos primeiros dez centímetros do solo respectivamente e diminuiriam exponencialmente com a profundidade do solo, seguindo o padrão de distribuição

vertical de raízes finas em florestas tropicais úmidas mostrados por diversos estudos (GOWER, 1987; CAVALLIER, 1996; SUDARAPANDIAN & SWAMI, 1996; MAYCOCK & CONGDON, 2000; OSTERTAG, 2001; JARAMILO; HERNANDEZ; KAUFFMAN, 2003; CATTANIO *et al.*, 2004; LEUSCHNER *et al.*, 2006; ESPELETA & CLARK, 2007).

A maior biomassa de raízes muito finas, finas e necromassa de raízes muito finas nas camadas superficiais, podem estar associadas diretamente com a maior concentração de nutrientes nos primeiros centímetros do solo, que por sua vez diminui com a profundidade (TAPIA-CORAL *et al.*, 2005). Em Latossolo amarelo amazônico a maior concentração de matéria morta nos primeiros 10cm do solo, que além de proporciona um microclima favorável para o crescimento e desenvolvimento das raízes finas, também proporciona uma maior decomposição e conseqüentemente aumentando a capacidade de troca catiônica do solo, favorecendo a retenção de nutrientes pelas raízes finas, principalmente em solos ácidos (FERREIRA *et al.*, 2001; MARQUES *et al.*, 2004). Outro fator que pode ter influenciado na distribuição das raízes muito finas, finas e necromassa de raízes muito finas no solo é o aumento da concentração de alumínio com a profundidade do solo em latossolo, restringindo o crescimento dessas raízes (MARQUES *et al.*, 2004).

A quinta hipótese desse experimento, que se trata da relação linear positiva entre a massa de raízes finas e a densidade de árvores, não foi constatada. Alguns trabalhos mostram uma relação entre a massa de raízes finas e a competição entre árvores (AERTS, 1991; CAHILL; CASPER, 2000), mas nenhum trabalho relaciona a massa de raízes finas com a densidade de árvores.

A falta de relação encontrada pode ser explicada por alguns fatores, como a heterogeneidade das propriedades físicas e químicas do solo (OLSTHOORN, 1999). As plantas alteram a distribuição de raízes finas, de acordo com as estruturas e principalmente a disponibilidades de recursos (água e nutrientes) abaixo do solo, que não estão distribuídos de forma regular (JONES *et al.*, 2003). Estudos mais detalhados são necessários para demonstrar a influência desta heterogeneidade na massa de raízes finas.

Outro fator que pode ter influenciado na ausência de relação entre a massa de raízes finas e a densidade de árvores são as características estratégicas diferentes inerentes a cada espécie com relação a captação de recursos (LEUSCHNER *et al.*, 2004). Algumas espécies em estresse diminuem o seu crescimento e investem na produção de raízes finas para ter mais chances competitivas, uma relação de custo e benefício (CAHILL; CASPER, 2000), outras reagem de forma diferente (LEUSCHNER *et al.*, 2004). Em se tratando de densidade de número de árvores, algumas espécies produzem maior massa de raízes finas em áreas com

árvores adensadas e outras em áreas menos adensadas (CAHILL; CASPER, 2000). A área desse estudo apresenta uma grande diversidade de espécies podendo gerar um contraste de estratégias capaz de ter influenciado no resultado final desse experimento (SUDARAPANDIAN & SWAMI, 1996).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse experimento mostram que as áreas que sofreram impactos antópicos provocados pela exploração seletiva de madeira há quatorze anos, ainda não recuperaram de forma significativamente a quantidade de biomassa de raízes muito finas e finas, diferentemente da floresta em seu curso dinâmico natural, onde as clareiras formadas por árvores caídas não influenciaram na biomassa de raízes muito finas e finas.

O centro das clareiras proporcionou uma maior biomassa de raízes muito finas, constatando que o aumento da entrada de luz no solo influencia positivamente na biomassa de raízes muito finas. Esses resultados também mostram a alta sensibilidade das raízes muito finas a responderem a tais modificações, diferentemente das raízes finas, onde não mostraram nenhuma alteração.

A necromassa de raízes finas não ocorreu em nenhuma das amostras, fato esse que pode ser explicado pela alta longevidade dessas raízes. Já a necromassa de raízes muito finas não sofreram influência dos experimentos.

A distribuição vertical da biomassa de raízes muito finas, finas e necromassa de raízes muito finas, diminuíram com a profundidade do solo, apresentando o mesmo padrão global da distribuição de raízes finas.

Este trabalho mostrou que os dois parâmetros de densidade de árvores (Nº de árvore por hectare e área basal por hectare) não influenciam na massa de raízes finas, provado pela ausência de relação entre eles, e sugere que outros fatores como a questão nutricional, física e a quantidade de matéria orgânica no solo, podem influenciar diretamente na massa de raízes finas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, R.; BOOT, R. G. A.; AART, P. J. M. The relation between above- and belowground biomass allocation patterns and competitive ability. **Oecologia**, V. 87, p. 551–559, 1991.

AKINNIFESI, F. K.; KANG, B. T.; LADIPO, D. O. Structural Root Form And Fine Root Distribution Of Some Woody Species Evaluated For Agroforestry Systems. **Agroforestry Systems**. V. 42, p. 121 – 148, 1999.

ARREDONDO, J. T.; JOHNSON, D. A. Root architecture and biomass allocation of three range grasses in response to nonuniform supply of nutrients and shoot defoliation. **New Phytology**. V. 143, p. 373 – 385, 1999.

BARGER, N. N.; D'ANTONIO, C. M.; GHNEIM, T.; BRINK, K.; CUEVAS, E. Nutrient Limitation to Primary Productivity in a Secondary Savanna in Venezuela. **Biotropica**. V. 34 (4), p. 493-501, 2002.

BLAIR, B. C.; PERFECTO, I. Nutrient Content and Substrate Effect on Fine Root Density and Size Distribution in a Nicaraguan Rain Forest. **Biotropica** V. 33(4), p. 697–701, 2001.

BURTON, A. J.; PREGITZER, K.S.; HENDRICK, R. L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forests. **Oecologia**. V.125, p. 389–399, 2000.

CAHILL, J. F. JR.; CASPER, B. B. Investigating the relationship between neighbor root biomass and belowground competition: field evidence for symmetric competition belowground. **Oikos**. V. 90, p. 311–320, 2000.

CAMPBELL, J. J.; FINÉR, L.; MESSIER, C. Fine-root production in small experimental gaps in successional mixed boreal forests. **Journal of Vegetation Science**. V.9, p. 537-542, 1998

CARVALHO, J., O., P. Changes in the floristic composition of a terra firme rain Forest in Brazilian Amazonia over an eight – year period in response to logging. **Acta Amazonica**. V. 32(2) p.277 – 291, 2002.

CASTELLANOS, J.; JARAMILLO, V. J.; SANFOR Jr, R.L.; KAUFFMAN, J.B. Slash and burn effects on fine root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in México. **Forest Ecology and Management**. V.148, p.41 – 50, 2001.

CATTANIO, J.H.; ANDERSON, A. B.; ROMBOLD, J. S.; NEPSTAD, D. C. Phenology, litterfall, growth, and root biomass in a tidal floodplain forest in the Amazon estuary. **Revista Brasileira de Botânica**. V.27, (4), p.703-712, 2004.

CAVALIER, J.; ESTEVES, J.; ARJONA, B. Fine-Root Biomass in Three Successional Stages of na Andean Cloud Forest in Colombia. **Biotropica**. V. 28 (4), p. 728 – 736, 1996.

CAVELIER, J; WRIGHT, S. J.; SANTAMARIA, J. Effects of irrigation on litterfall, fine root biomass and production in a semideciduous lowland forest in Panama. **Plant and Soil**. V. 211, p. 207–213, 1999.

CHEN, X.; EAMOS, D.; HUTLEY, L. B. Seasonal patterns of fine-root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia. **Journal of Tropical Ecology**. V.20, p. 221 – 224, 2004.

DENSLOW, J. S.; ELLISON, A. M.; SANFORD, R. E. Treefall gap size effects on above! and belowground processes in a tropical wet forest. **Journal of Ecology**. V.86, p. 486-598, 1998.

D'OLIVEIRA, M., V., N. BRAZ, E., M., B. Estudo da dinâmica da floresta manejada no projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**. V. 36(2) p. 177 – 182, 2006.

DORNBUR, M. E.; SHISENHART, T. M.; RAICH, J. W. Quantifying fine-root decomposition: an alternative to buried litterbags. **Ecology**, V. 83 (11), p. 2985-2990, 2002.

DROST, D. WILSON, D. Monitoring root length density and root biomass in asparagus (*Asparagus officinalis*) with soil cores. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, V. 31, p. 125 – 137, 2003.

ESPELETA, J. F.; CLARK, D. A. Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rain forest: a seven-year study. **Ecological Monographs**. V. 77 (3), p. 377–404, 2007.

FERREIRA, S. J. F.; CRESTANA, S.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F. Nutriente no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia central. **Acta amazônica**. V.31(3), p. 381-396, 2001.

FERREIRA, S., J., F.; LUIZÃO, F. J.; MELLO-IVO, W.; ROSS, S. M.; BIOT, Y. Propriedades físicas do solo após extração seletiva de madeira na Amazônia central. **Acta Amazonica**, V. 32 (3) p. 449-466, 2002.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta amazônica**. V. 35(1), p. 55 – 62, 2005.

FERREIRA, S., J., F. J. LUIZÃO, F., J. F. MIRANDA, S., A., F. R. da SILVA, M., S., R. VITAL, A., R., T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**. V. 36 (1) p. 59 – 68, 2006.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. DINÂMICA DE RAÍZES DE ESPÉCIES ARBÓREAS: VISÃO DA LITERATURA. **Ciência Florestal**, Santa Maria, V. 18, n. 1, p. 133-142, jan.-mar., 2008.

JARDIM, F. C. S. ; VASCONCELOS, Lia Mara Rabelo . Dinâmica da regeneração natural de *Rinorea guianensis* Aublet, em uma floresta tropical primária explorada seletivamente, Moju(PA). **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 45, n. Jan.-Jun, p. 121-134, 2006.

Fernando Cristóvam da Silva JARDIM, Dinilde Ribeiro SERRÃO, Tangrienne Carvalho. NEMER. **Efeito de diferentes tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas, em Moju-PA**. **Acta Amazonica** VOL. 37(1) 2007: 37 - 48

JARDIM, F. C. S. ; SENA, J., R., C.; MIRANDA, I., S. Dinâmica e estrutura da vegetação com DAP>=5cm em torno de clareiras da exploração florestal seletiva em Moju, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**. V. 49, p. 41-52, 2008.

GERWING, J. & Vidal, E. Degradação de Florestas pela Exploração Madeireira e Fogo na Amazônia. **Série Amazônia N° 20** - Belém: Imazon, p. 26, 2002.

GORDON, W. S.; JACKSON, R. B. Nutrient concentrations in fine roots. **Ecology**. V. 81 (1), p. 275-280, 2000.

GOWER, S. T. Relations Between Mineral Nutrient Availability and Fine Root Biomass in Two Costa Rican Tropical Wet Forests: A Hypothesis. **Biotropica**. V.19 (2): p. 171 – 175, 1987.

HERTEL, D; LEUSCHNE, C; HOLSCHER, D. Size and structure of fine root systems in old-growth and secondary tropical montane forests (Costa Rica). **Biotropica**. V. 35 (2), 143-153, 2003.

JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Ecology**. V. 94, p. 7362 – 7366, 1997.

JACKSON, R. B. Belowground processes and global change. **Ecological Applications**. V. 10, (2), p. 397-398, 2000.

JARAMILLO, V. J. HERNANDEZ, R. A, KAUFFMAN, J. B. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. **Journal of Tropical Ecology**. V. 19, 457 – 464, 2003.

JONES, R. H.; MITCHELL, R. J.; STEVENS, G. N.; PECOT, S. D. Controls of fine root dynamics across a gradient of gap sizes in a pine woodland. **Oecologia**. V.134, p.132–143, 2003.

JOSLIN, J. D.; WOLFE, M. H.; HANSON, P. J. Effects of altered water regimes on forest root systems. **New Phytology**. V. 147, p.117-129, 2000.

JOSLIN, J. D.; GAUDINSKI, J. B.; TORN, M. S.; RILEY, W. J.; HANSON, P. J. Fine-root turnover patterns and their relationship to root diameter and soil depth in a <sup>14</sup>C-labeled hardwood forest. **New Phytologist**. V. 172, p. 523–535, 2006.

KASS, D. C. L; SOMARRIBA, E. Traditional fallows in Latin America. **Agroforestry Systems**, V. 47, p. 13–36, 1999.

KING, J.S.; PREGITZER, K.S. ; ZAK, D.R.; SOBER, J.; ISEBRANDS, J.G.; DICKSON, R.E.; HENDREY, G.R.; KARNOSKY, D.F. Fine-root biomass and fluxes of soil carbon in young stands of paper birch and trembling aspen as affected by elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and tropospheric O<sub>3</sub>. **Oecologia**, V. 128, p. 237–250, 2001.

KING, J.S.; PREGITZER, K.S. ; ZAK, D.R.; HOLMES, W. E.; SCHMIDT, K. Fine root chemistry and decomposition in model communities of north-temperate tree species show little response to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and varying soil resource availability. **Oecologia**, V. 146 p. 318–328, 2005.

KLOPATEK, J. M. Litterfall and Fine root biomass contribution to nutrient dynamics in second- and old-growth Douglas-Wr ecosystems. **Plant Soil**. V. 294, p.157–167, 2007.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos florestais da Amazônia 2003**. Belém, Imazon, p. 110 2003.

LESSA, A. S. N.; ANDERSON, D. W.; MOIR, J. O. Fine root mineralization, soil organic matter and exchangeable cation dynamics in slash and burn agriculture in the semi-arid northeast of Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. V. 59, p.191-202, 1996.

LEUSCHNER, C. L.; HERTEL, D.; SCHMID, I.; KOCH, O.; MUHS, A.; HÖLSCHER, D. Stand fine root biomass and fine root morphology in old-growth beech forests as a function of precipitation and soil fertility. **Plant and Soil**. V. 258, p. 43–56, 2004.

LEUSCHNER, C.; WIENS, M.; HARTEVELD, M.; HERTEL, D.; TJITROSEMITO, S. Patterns of fine root mass and distribution along a disturbance gradient in a tropical montane forest, Central Sulawesi (Indonesia). **Plant and Soil** V. 283, p.163–174, 2006.

MAGNUSSON, W. E. LIMA, O. P. REIS, F. Q. HIGUCHI, N. RAMOS, J. F. Logging activity and tree regeneration in an Amazonian forest. **Forest Ecology and Management**. V. 113 p. 67-74, 1999.

MARQUES, J. D. O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. R. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. **Acta amazônica**. V. 34(2), p. 145 – 154, 2004.

MARTINS, L. F. S.; POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R. F.; GUEDES, M. C.; GOSNÇALVES, J. L. M. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de bio sólido. **Scientia Florestalis**. V. 65, p. 207 – 218, 2004.

MAYCOCK, C. R.; CONGDON, R. A. Fine root biomass and soil n and p in north Queensland rain forests. **Biotropica**. V. 32 (1), p. 185–190, 2000.

MCCLAUGHERTY, C. A.; ABER, J. D. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. **Ecology**. V. 63 (5), p. 1481-1490, 1982.

MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; OLIVEIRA, L. E. G. Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. **Scientia Florestalis**. n. 54, p. 17-28, 1998.

MELLO-IVO, W., M., P. & ROSS, R. Efeito da colheita seletiva de madeira sobre algumas características físicas de um latossolo amarelo sob floresta na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 30 p. 769-776, 2006.

NEEFF, T. Spatial modeling of primary and secondary forest growth in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, V.219, p.149–168, 2005.

NEEFF, T. Richard M. Lucas, João Roberto dos Santos, Eduardo S. Brondizio, and Corina C. Freitas. Area and Age of Secondary Forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: An Empirical Estimate. **Ecosystems**, V. 9, p. 609–623, 2006.

NEMER, T. C.; JARDIM, F. C. S.; SERRÃO, D. R. Sobrevivência de mudas da regeneração natural de espécies arbóreas, três meses após o plantio, em clareiras de diferentes tamanhos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, V. 26, n. 2, p. 217-221, 2002.

NEMER, T. C.; JARDIM, F. C. S. Crescimento diamétrico de uma população de *Eschweilera odora* (POEPP.) Miers com DAP $\geq$ 5cm durante três anos em uma floresta tropical de terra-firme manejada, Moju-Pará-Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 41, p. 77-88, 2004.

OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**. V. 19, p. 574–581, 2005.

OLSTHOORN, A.F.M.; KLAP, J.M.; OUDE VOSHAAR, J.H. The relation between fine root density and proximity of stems in closed Douglas-fir plantations on homogenous sandy soils: implications for sampling design. **Plant and Soil**, V. 211, p. 215–221, 1999.

OSTERTAG, R. Effects of nitrogen and phosphorus availability on fine-root dynamics in Hawaiian montane forests. **Ecology**. V. 82 (2), p. 485–499, 2001.

PAVLIS, J.; JENÍK, J. Roots of pioneer trees in the Amazonian rain forest. **Trees**. V. 14, p. 442–455, 2000.

PAVÓN, N. P.; BRIONES, O. Root distribution, standing crop biomass and belowground productivity in a semidesert in México. **Plant Ecology**. V. 146, p. 131–136, 2000.

PREGITZER, K.; HENDRICK, R. L.; FOGEL, R. The demography of fine roots in response to patches of water and nitrogen. **New Phytology**. V. 125, p. 475 – 580. 1993.

PREGITZER, K.; ZAK, D. R.; CURTIS, P. S.; KUBISKE, M. E.; TEERI, J. A.; VOGEL, C.S. Atmospheric CO<sub>2</sub>, soil nitrogen and turnover of fine roots. **New Phytology**. V. 129, p. 479 – 585. 1995.

PREGITZER, K. S. Fine roots of trees – a new perspective. **New Phytologist**. V. 154, p. 267–273, 2002.

PUTZ, F. E.; DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. 2000. Why poor logging practices persist in the tropics. **Conservation Biology**. V. 14 (4) p. 951-956, 2000.

REICH P.B., WALTERS M.B., TJOELKER M.G., VANDERKLEIN D., BUSCHENA C. Photosynthesis and respiration rates depend on leaf and root morphology and nitrogen concentration in nine boreal tree species differing in relative growth rate. **Functional Ecology**. v.12, p. 395-405, 1998.

REUBENS, B.; POESEN, J.; DANJON, F.; GEUDENS, G; MUYS, B. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture a review. **Trees**. V. 21, p. 385–402, 2007

SANTOS, P. L. dos; SILVA, J. M. L. da; SILVA, B. N. R. da; SANTOS, R. D. dos; REGO, G. S. levantamento semidetalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras para



culturas de dendê e seringueira. **Projeto Moju, Pará**: relatório técnico. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, P. 192, 1985.

SERRÃO, D., R., ; JARDIM, F. C. S. ; NEMER, T., CARVALHO, J., O., P. Sobrevivência de seis espécies florestais em uma área explorada seletivamente no município de Moju, Pará. **Cerne (UFL)**, Lavras, V. 9, N°. 2, p. 153-163, 2003.

SIERRA, C. A.; VALLE, J. I. D.; ORREGO, S. A. Accounting for fine root mass sample losses in the washing process: a case study from a tropical montane forest of Colombia. **Journal of Tropical Ecology**. V.19, p. 599–601, 2003.

SILVER, W. L.; MIYA, R. K. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. **Oecologia**. V. 129, 407–419, 2001.

SILVER, W. L.; THOMPSON, A.; MCGRODDY, M. E.; VARNER, R. K.; DIAS, D.; SILVA, H.; CRILL, P. M.; KELLER, M. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global change biology**. V. 11, p. 290–306, 2005.

SON, Y.; HWANG, J.H. Fine root biomass, production and turnover in a fertilized *Larix leptolepis* plantation in central Korea. **Ecological Research**. V. 18, p. 339 – 346, 2003.

STEWART, C. G. A Test of Nutrient Limitation in Two Tropical Montane Forests Using Root Ingrowth Cores. **Biotropica**. V.32 (2), p. 369–373, 2000.

SUDARAPANDIAN, S. M.; SWAMI, P. S. Fine root biomass distribution and productivity patterns under open and closed canopies of tropical forest ecosystems at Kodayar in Western Ghats, South India. **Forest Ecology and Management**. V. 86, 181 – 192, 1996.

TAPIA-CORAL, S. C.; LUIZAÃO, F. J.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil. **Agroforestry Systems**. V. 42, p. 65:33, 2005.

TIERNEY, G. L.; FAHEY, T. J. Evaluating minirhizotron estimates of fine root longevity and production in the forest floor of a temperate broadleaf forest. **Plant and Soil**. V. 229, p. 167–176, 2001.

TOLEDO, Z. O.; KAUFFMAN, J. B. Root biomass in relation to channel Morphology of head water streams. **Journal of The American Water Resources Association**. V. 37, N° 6, 2001.

TUFEKCIOGLU, A; RAICH, J, W; ISENHART, T, M; SWCHULTZ, R. C. Fine root dynamics, coarse root biomass, root distribution, and soil respiration in a multispecies riparian buffer in Central Iowa, USA. **Agroforestry Systems**. V 44, p. 163 – 174, 1999.

UHL, C & ALMEIDA, O. “O desafio da exploração sustentada da Amazônia”. Em ALMEIDA, O. (org.). **A evolução da fronteira amazônica – oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. Belém, Imazon, 1996.

VERISSIMO, A; BARRETO, P. MATTOS, M. TARIFA, R. UHL, C. .Logging Impacts And Prospects For Sustainable Forest Management In Old Amazonia Frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, V. 55 p. 169-199, 1992.

VALVERDE-BARRANTES, O. J.; RAICH, J. W.; RUSSELL, A. E. Fine-root mass, growth and nitrogen content for six tropical tree species. **Plant Soil** V. 290, p. 357–370, 2007.

VASCONCELOS, S., S. HIGUCHI, N. OLIVEIRA M., V., N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, V. 39(1) p. 61 – 70, 2009.

VISALAKSHI, N. Fine root dynamics in two tropical dry evergreen forests in southern India. **Journal Bioscience**. V. 19, (1), p. 103-116, 1994.

VOGT, K. A., VOGT, D. J., PALMIOTTO, P. A., BOON, P., O'HARA, J. ASBJORNSEN, H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. **Plant Soil**, v.187, p.159–219, 1996.

YAVITT, J. B.; WRIGHT, S. J. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. **Biotropica**. V,33 (3), p. 421–434, 2001.

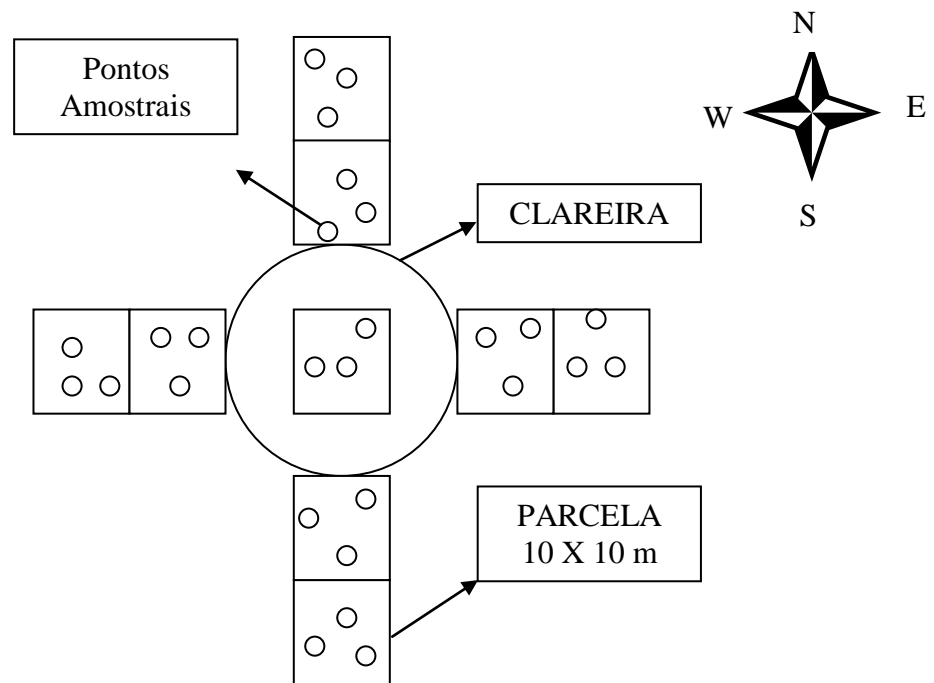
ZANGARO, W.; NISHIDATE, F. R.; VANDRESEN, J.; ANDRADE G.; NOGUEIRA, M. A. Root mycorrhizal colonization and plant responsiveness are related to root plasticity, soil fertility and successional status of native woody species in southern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**. V. 23, p.53–62, 2007.

ZEWDIE; S.; FETENE, M.; OLSSON, S. Fine root vertical distribution and temporal dynamics in mature stands of two enset (*Enset ventricosum* Welw Cheesman) clones. **Plant Soil**. V. 305, p. 227–236, 2008.

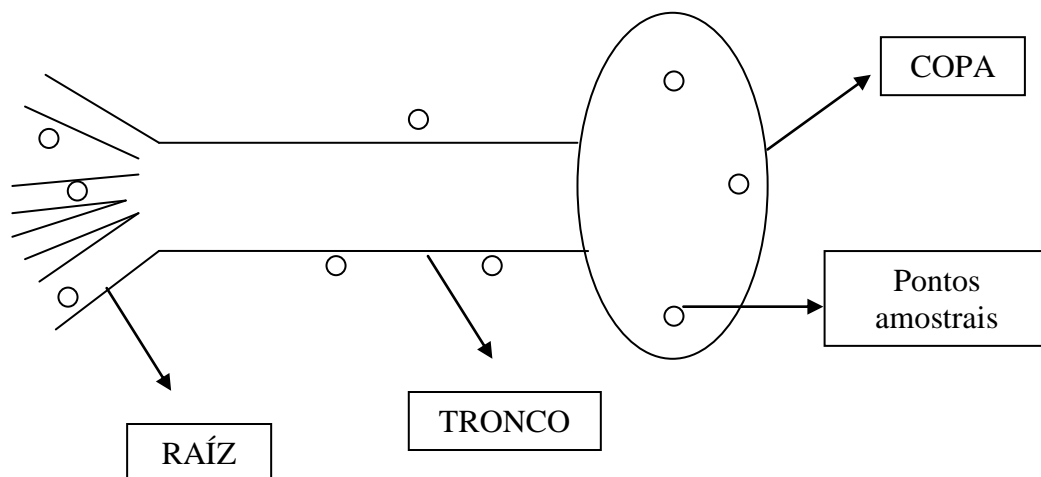
ZARIN, D., J. SCHULZE, M., D. VIDAL, E. LENTINI, M. Beyond Reaping the First Harvest: Management Objectives for Timber Production in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**. V. 2, N°. 1, 2007.



**Figura 3.** Localização da área de estudo, destacando o Estado do Pará (A), o município de Moju (B) e a Estação Experimental da Embrapa (C). (Fonte: UAS, Museu Paraense Emílio Goeldi, janeiro/2006).



**Figura-4.** Desenho esquemático da distribuição das parcelas e pontos amostrais, em relação á clareira.



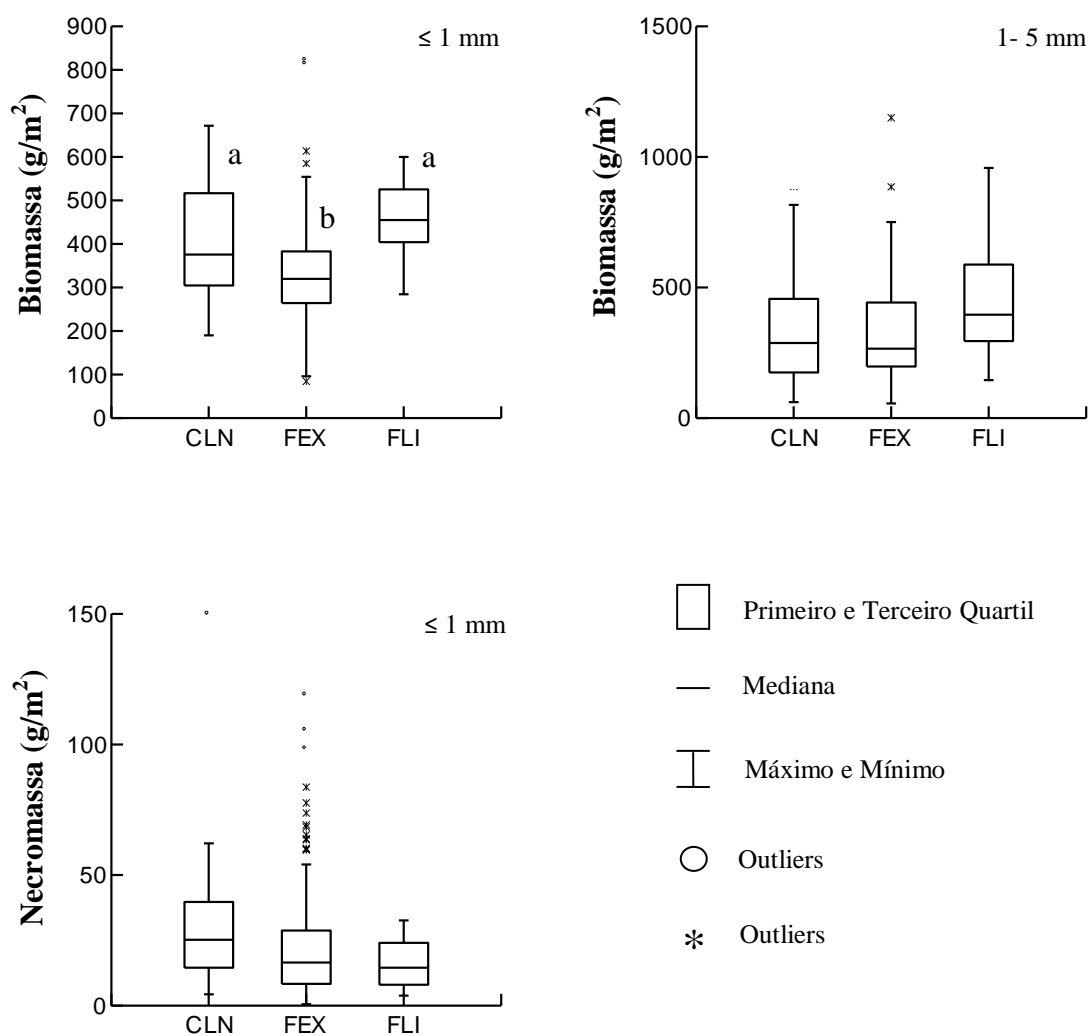
**Figura-5.** Desenho esquemático dos pontos das amostras em áreas de árvores caídas.

**Tabela 3:** Área em m<sup>2</sup> das clareiras formadas pela exploração seletiva de madeira e clareiras formadas por queda natural de árvores.

| Clareiras   | Área m <sup>2</sup> |
|-------------|---------------------|
| Explorada 1 | 340                 |
| Explorada 2 | 600                 |
| Explorada 3 | 748                 |
| Explorada 4 | 437                 |
| Explorada 5 | 320                 |
| Natural 1   | 231                 |
| Natural 2   | 200                 |
| Natural 3   | 198                 |
| Natural 4   | 180                 |
| Natural 5   | 208                 |



**Figura 6.** Diferentes fases da metodologia do estudo de raízes finas. A) Trado coletor de solo; B) armazenamento do solo em saco plástico; C) Sacos armazenados sob refrigeração; D) Triagem das raízes finas; E) Secagem em estufa; F) Pesagem.



**Figura 7.** Gráfico do tipo Box Plot, mostrando a biomassa de raízes muito finas ( $\leq 1$  mm), finas (1 – 5 mm) e necromassa de raízes muito finas ( $\leq 1$  mm) em CLN= clareiras naturais (n= 45), FEX= floresta que sofreu exploração seletiva de madeira (n= 135), FLI= floresta não explorada (n=15) no município de Mojú – Pará – Brasil. Letras diferentes denotam diferença estatística. H= 27, 381 e  $P < 0.001$  ( $\leq 1$  mm); H= 4, 990 e  $P = 0.082$  (1 – 5 mm), H= 5,730 e  $P = 0.057$  (necromassa  $\leq 1$  mm).

**Tabela 4:** Média e erro padrão de biomassa e necromassa de raízes finas ( $\text{g/m}^2$ ) em diferentes categorias de tamanho a certa distância com relação ao centro das clareiras provocada pela exploração seletiva de madeira município de Mojú – Pará – Brasil. n=número de coletas.

| Categorias de tamanho          | Distâncias           |                    |                    |
|--------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|                                | Centro<br>n=15       | Borda<br>n=60      | 10 metros<br>n=60  |
| $\leq 1 \text{ mm}$            | 440,01 $\pm$ 37,67 * | 303,82 $\pm$ 14,89 | 318,15 $\pm$ 10,28 |
| 1 - 5 mm                       | 336,76 $\pm$ 34,22   | 310,14 $\pm$ 24,54 | 337,45 $\pm$ 21,86 |
| Necromassa $\leq 1 \text{ mm}$ | 18,49 $\pm$ 3,27     | 26,39 $\pm$ 3,21   | 21,89 $\pm$ 2,90   |

\* Denota significância ( $p < 0,001$ ) entre as distâncias.

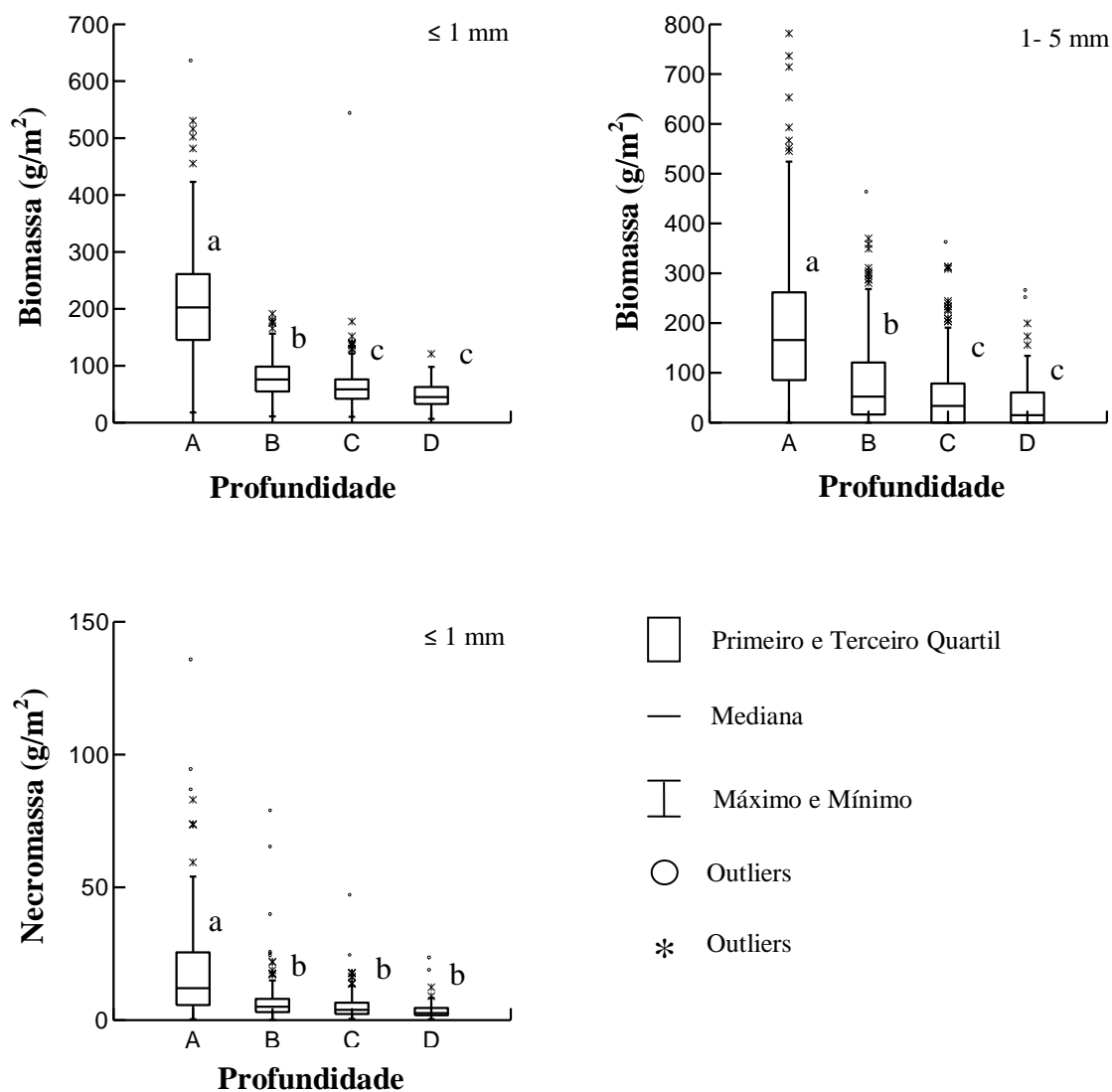
**Tabela 5:** Média e erro padrão de biomassa e necromassa de raízes finas ( $\text{g/m}^2$ ) em diferentes categorias de tamanho nas diversas direções com relação ao centro das clareiras provocado pela exploração seletiva de madeira município de Mojú – Pará – Brasil. n=número de coletas.

| Categorias de tamanho          | Direções            |                    |                    |                    |                    |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                | Centro<br>n=15      | Norte<br>n=30      | Sul<br>n=30        | Leste<br>n=30      | Oeste<br>n=30      |
| $\leq 1 \text{ mm}$            | 440,01 $\pm$ 37,67* | 315,78 $\pm$ 16,53 | 319,78 $\pm$ 15,02 | 329,55 $\pm$ 14,91 | 278,82 $\pm$ 23,83 |
| 1 - 5 mm                       | 336,76 $\pm$ 34,22  | 393,62 $\pm$ 38,09 | 348,79 $\pm$ 35,62 | 300,68 $\pm$ 24,13 | 252,11 $\pm$ 27,12 |
| Necromassa $\leq 1 \text{ mm}$ | 18,49 $\pm$ 3,27    | 27,78 $\pm$ 5,01   | 26,24 $\pm$ 4,49   | 20,31 $\pm$ 3,40   | 22,23 $\pm$ 4,35   |

\* Denota significância ( $p < 0,001$ ) entre o centro e as direções norte e oeste.

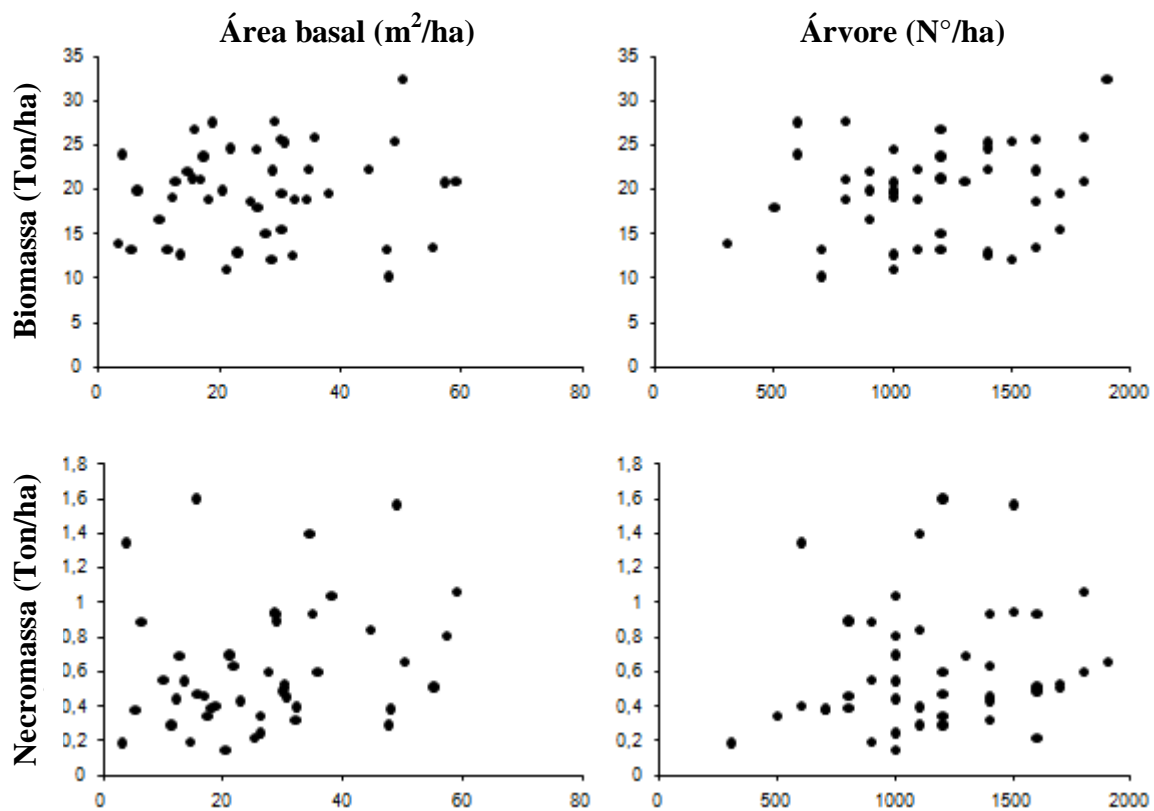
**Tabela 6:** Média e erro padrão de biomassa e necromassa de raízes finas ( $\text{g/m}^2$ ) em diferentes categorias de tamanho nas diversas direções em cada zona das árvores tombadas naturalmente e áreas de floresta intacta no município de Mojú – Pará – Brasil. n=número de coletas.

| Categorias de tamanho          | Zonas das árvores tombadas |                     |                    |                      |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
|                                | Copa<br>N=15               | Tronco<br>n=15      | Raiz<br>n=15       | FLI<br>n=15          |
| $\leq 1 \text{ mm}$            | 462,17 $\pm$ 40,96         | 465,72 $\pm$ 29,88  | 409,58 $\pm$ 30,86 | 518,6113 $\pm$ 23,25 |
| 1 - 5 mm                       | 338,79 $\pm$ 59,82         | 437,243 $\pm$ 73,42 | 404,84 $\pm$ 67,11 | 386,09 $\pm$ 57,14   |
| Necromassa $\leq 1 \text{ mm}$ | 34,26 $\pm$ 8,63           | 41,18 $\pm$ 9,91    | 28,1436 $\pm$ 4,26 | 18,98 $\pm$ 2,88     |



**Figura 8.** Gráfico do tipo Box Plot, mostrando a biomassa de raízes muito finas ( $\leq 1$  mm), finas (1 – 5 mm) e necromassa de raízes muito finas ( $\leq 1$  mm) em diferentes profundidades do solo (A= 0-10, n=195; B= 10-20 n=195; C= 20-30, n=195; D= 30-40cm, n=60), em uma floresta tropical úmida no município de Mojú – Pará – Brasil. Letras diferentes denotam diferença estatística. H= 337,04 e  $P < 0.0001$  ( $\leq 1$  mm); H= 169,46 e  $P = 0.0001$  (1 – 5 mm), H= 93,81 e  $P < 0.0001$  (necromassa  $\leq 1$  mm).





**Figura 9:** Relação entre área basal e número de árvores com massa total e necromassa de raízes finas (N=46) no município de Mojú – PA.