

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ

DINÂMICA DE BIOMASSA E NUTRIENTES EM RAÍZES DE ECOSSISTEMAS DE  
FLORESTA NATIVA E PLANTIO DE *Eucalyptus* NA AMAZÔNIA ORIENTAL

MARLON COSTA DE MENEZES  
Engenheiro Florestal

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias do  
Pará, como parte das exigências do Curso de Mestrado em  
Ciências Florestais, área de concentração em Silvicultura e  
Manejo Florestal, para a obtenção do título de **Mestre**.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Ph.D. Kenneth Lee McNabb (Orientador)  
Auburn University-AL-USA

M.Sc. Luiz Gonzaga da Silva Costa (Co-orientador)  
FCAP

Dra. Cristina Maria Araújo Dib Táxi  
FCAP

Belém  
2002

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA FACULDADE DE  
CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ – FCAP

MENEZES, Marlon Costa de. Dinâmica da biomassa e dos nutrientes nas raízes em ecossistemas de floresta nativa e plantios de *Eucalyptus* na Amazônia Oriental. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -- Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2002.

CDD- 574.5222098115

CDU- 574.4:582.883.4 (811.5)

Aos meus pais,  
Antonio Acácio Bastos de Menezes e Lúdia Costa de Menezes

Aos meus avós,  
Crispim Acácio de Menezes e Raimunda Acácio Bastos de Menezes

Ao meu tio,  
Raimundo Acácio Neto

E ao,  
Prof. Luiz Gonzaga da Silva Costa

**DEDICO**

## Agradecimentos

À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, que nos 5 anos de graduação e 2 anos de pós-graduação me possibilitou uma excelente formação;

À Coordenadoria do curso de Pós-graduação em Ciências Florestais, em nome dos Professores Fernando Jardim e Izildinha Miranda (especialmente);

Ao Projeto LBA-Ecology (Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia);

À NASA – National Aeronautics and Space Administration, pelo apoio financeiro ao projeto que participo;

Ao convênio FCAP/Auburn University pelo consentimento da bolsa e apoio técnico e financeiro na coleta e análise dos dados, junto ao Projeto Soil Organic Matter Fluxes in Amazonian Forests: Natural vs. Intensively Managed Systems;

À Empresa Jarí Celulose S/A, pelo apoio na hospedagem, transporte e coleta dos dados, especialmente ao funcionário João Pantoja e ao Eng. Florestal Osvaldo Cândia;

Ao Orientador Ken McNabb pela orientação incansável e pelo apoio durante o período nos Estados Unidos;

Ao Professor Luiz Gonzaga Costa, pela ajuda na finalização do trabalho e o incentivo durante o curso de Mestrado;

A Professora Cristina Maria Araújo Dib Táxi, pela leitura detalhada e sugestões;

Às bolsistas CNPq/LBA e amigas Márcia Barros e Márcia Hamada, sem a ajuda das quais jamais conseguiria obter os dados em tempo preciso;

Ao Departamento de Solos, em nome do Professor Mário Silva Júnior, do Técnico do Laboratório Carlos Pereira e da bolsista DTI/CNPq/LBA Vânia Melo, pela ajuda nas análises dos nutrientes;

Aos colegas Elisson Savaris e Keila Paixão pelo companheirismo durante todas as fases do projeto;

A todos os alunos do Mestrado, pela luta e que tenham igualmente concluído o trabalho com êxito;

E a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, embora aqui não os tenha citado.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Resumo.....                                                                                                                                   | 1  |
| INTRODUÇÃO GERAL.....                                                                                                                         | 2  |
| 1. OBJETIVOS.....                                                                                                                             | 5  |
| 1.1. Objetivo Geral.....                                                                                                                      | 5  |
| 1.2. Objetivos Específicos.....                                                                                                               | 5  |
| 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....                                                                                                                | 5  |
| 2.1. Histórico do Projeto Jari.....                                                                                                           | 5  |
| 2.2. Área de Estudo.....                                                                                                                      | 6  |
| 2.3. Clima.....                                                                                                                               | 7  |
| 2.4. Solos.....                                                                                                                               | 8  |
| 2.5. Vegetação.....                                                                                                                           | 9  |
| 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                            | 10 |
| CAPÍTULO I - BIOMASSA DE RAÍZES FINAS EM ECOSSISTEMAS DE<br>FLORESTA NATIVA E DE PLANTAÇÕES DE <i>Eucalyptus</i> NA AMAZONIA<br>ORIENTAL..... | 14 |
| Resumo.....                                                                                                                                   | 14 |
| Abstract.....                                                                                                                                 | 15 |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                                                            | 16 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                    | 18 |
| 2.1. Caracterização da Área.....                                                                                                              | 18 |
| 2.2. Metodologia.....                                                                                                                         | 20 |
| 3. RESULTADOS.....                                                                                                                            | 22 |
| 3.1. Biomassa Radicular Anual.....                                                                                                            | 23 |
| 3.2. Distribuição Vertical das Raízes.....                                                                                                    | 23 |
| 3.3. Influência Sazonal na Produção de Biomassa Radicular.....                                                                                | 24 |
| 3.4. Biomassa Radicular em função da Classificação Diamétrica e Sazonalidade.....                                                             | 25 |
| 4. DISCUSSÃO.....                                                                                                                             | 27 |
| 4.1. Biomassa Radicular Anual.....                                                                                                            | 27 |
| 4.2. Distribuição Vertical das Raízes.....                                                                                                    | 27 |
| 4.3. Influência Sazonal na Produção de Biomassa Radicular.....                                                                                | 28 |
| 4.4. Biomassa Radicular em função da Classificação Diamétrica e Sazonalidade.....                                                             | 29 |
| 5. CONCLUSÕES.....                                                                                                                            | 29 |

|                                                                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                                             | 29        |
| <b>CAPÍTULO II - DINÂMICA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES EM RAÍZES<br/>FINAS DE FLORESTA NATURAL E PLANTAÇÕES DE <i>Eucalyptus</i> NA<br/>AMAZÔNIA ORIENTAL.....</b> | <b>34</b> |
| Resumo.....                                                                                                                                                    | 34        |
| Abstract.....                                                                                                                                                  | 35        |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                             | 36        |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                     | 39        |
| 2.1. Caracterização da Área.....                                                                                                                               | 39        |
| 2.2. Metodologia.....                                                                                                                                          | 41        |
| 3. RESULTADOS.....                                                                                                                                             | 43        |
| 3.1. Concentração de nutrientes em raízes de diferentes classes diamétricas.....                                                                               | 45        |
| 3.2. Quantificação de nutrientes em raízes no perfil do solo.....                                                                                              | 48        |
| 3.3. Variação sazonal de nutrientes contidos em raízes.....                                                                                                    | 49        |
| 4. DISCUSSÃO.....                                                                                                                                              | 49        |
| 4.1. Concentração de nutrientes em raízes de diferentes classes diamétricas.....                                                                               | 49        |
| 4.2. Quantificação de nutrientes em raízes no perfil do solo.....                                                                                              | 51        |
| 4.3. Variação sazonal de nutrientes contidos em raízes.....                                                                                                    | 51        |
| 5. CONCLUSÕES.....                                                                                                                                             | 52        |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                                             | 53        |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                                                                                                                      | 58        |

## Lista de Figuras

### INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1- Mapa de localização da área do Projeto Jari, atualmente da Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... 7
- Figura 2- Diagrama climático de observações da precipitação e temperatura na Estação Meteorológica da Empresa Jari Celulose S/A, construído por Spanberg *et al.* (1996), baseados em dados de Correa *et al.* (1989)..... 8

### CAPÍTULO I - BIOMASSA DE RAÍZES FINAS EM ECOSISTEMAS DE FLORESTA NATIVA E DE PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus* NA AMAZONIA ORIENTAL

- Figura 1- Mapa de localização da área do Projeto Jari, atualmente da Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA. .... 19
- Figura 2- Representação esquemática do experimento montado para a coleta da biomassa radicular. Empresa JARI Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... 21
- Figura 3- Biomassa radicular total ( $t\ ha^{-1}$ ) nas áreas de estudo da Empresa Jari Celulose S/A Almeirim-PA..... 23
- Figura 4- Biomassa de raízes distribuídas em camadas do solo na Empresa Jari Celulose S/A Almeirim-PA. A- solo argiloso e B- solo arenoso..... 24
- Figura 5- Variação sazonal da biomassa radicular  $\leq 1\ mm$ , na superfície do solo (0-15 cm de profundidade) na Empresa Jari Celulose S/A Almeirim-PA. A-solo argiloso e B-solo arenoso..... 25

### CAPÍTULO II - DINÂMICA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES EM RAÍZES FINAS DE FLORESTA NATURAL E PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus* NA AMAZÔNIA ORIENTAL

- Figura 1- Mapa de localização da área do Projeto Jari, atualmente da Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA, onde foram instalados os estudos do presente trabalho..... 39
- Figura 2- Representação esquemática do experimento montado para a coleta da biomassa radicular. Empresa JARI Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... 42
- Figura 3- Concentração Média de A- Nitrogênio, B- Fósforo, C-Potássio, D-Cálcio e E- Magnésio em diferentes diâmetros das raízes ( $\leq 1$ ,  $1 < 3$  e  $> 3\ mm$ ). Empresa JARI Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... 47
- Figura 4- Variação anual do conteúdo de A-N, B-P, C-K, D-Ca e E-Mg na biomassa radicular, somatório das 3 profundidades. Empresa JARI Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... 50

## INTRODUÇÃO GERAL

|                                                                                                                                                             |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Tabela 1- Análise de solo da área experimental, na profundidade de 0-20cm. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... | 9 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

## CAPÍTULO I - BIOMASSA DE RAÍZES FINAS EM ECOSISTEMAS DE FLORESTA NATIVA E DE PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus* NA AMAZÔNIA ORIENTAL

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Médias de biomassa radicular ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos ecossistemas, na área da Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.....                                                                                                                                                           | 22 |
| Tabela 2- Médias de biomassa radicular ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos tipos de solos, na área da Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.....                                                                                                                                                         | 22 |
| Tabela 3- Variação bimestral de biomassa de raízes mortas e vivas ( $\text{t ha}^{-1}$ ) em diferentes classes diamétricas encontradas em floresta nativa e plantio de <i>Eucalyptus</i> e em dois tipos de solos na profundidade de até 1 m. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... | 26 |

## CAPÍTULO II - DINÂMICA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES EM RAÍZES FINAS DE FLORESTA NATURAL E PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus* NA AMAZÔNIA ORIENTAL

|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Análise de solo da área experimental, na profundidade de 0-20cm. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.....                                 | 40 |
| Tabela 2- Comparação de médias dos nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ), na biomassa radicular, pelo teste t. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... | 44 |
| Tabela 3- Comparação de médias dos nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ), na biomassa radicular, pelo teste t. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA..... | 45 |
| Tabela 4- Concentração média dos nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) presentes na biomassa radicular. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.....        | 46 |
| Tabela 5- Estoque de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) presentes na biomassa radicular. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.....                   | 48 |

**Resumo.** Na floresta tropical, o retorno da matéria orgânica e dos nutrientes ao solo pode-se dar principalmente pela deposição do material orgânico, e as raízes participam como um dos elementos fundamentais nos processos que ocorrem abaixo do solo. Este trabalho tem por objetivo quantificar a biomassa radicular e a concentração e o conteúdo de nutrientes em florestas nativas e plantios de *Eucalyptus*. O presente estudo foi conduzido na área da Empresa Jari Celulose S/A, localizado no município de Almeirim (Monte Dourado), Estado do Pará, em Latossolos arenoso e argiloso. Para a coleta das raízes, retiraram-se amostras de solos nas profundidades 0-15 (camada superficial), 35-50 (camada intermediária) e 85-100 cm (camada profunda), removendo as partículas de solo das raízes, separando-as por classes diamétricas ( $\leq 1$ ,  $1 < 3$ ,  $> 3$  mm e raízes mortas), obtendo seu peso seco e preparando as amostras necessárias às análises químicas dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A biomassa radicular anual foi 106,4 t ha<sup>-1</sup> (solo arenoso) e 100,8 t ha<sup>-1</sup> (solo argiloso) na floresta nativa e no *Eucalyptus*, 29,7 e 17,5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente nos solos arenoso e argiloso, sendo que esta biomassa concentrou-se majoritariamente na camada superficial do solo, na área argilosa para a floresta nativa foi 76,6 t ha<sup>-1</sup> e na floresta plantada 9,3 t ha<sup>-1</sup>, e na área arenosa manteve a mesma tendência, sendo na floresta nativa 70,0 t ha<sup>-1</sup> e no plantio 17,0 t ha<sup>-1</sup>. A biomassa da floresta nativa foi superior ao do plantio em todas as classes diamétricas avaliadas e tendeu a concentrar maior biomassa nas classes de maior diâmetro, e quanto a variação sazonal, a biomassa teve grandes picos na estação seca para a floresta nativa, o solos argiloso e arenoso produziram 2.938,26 e 2.965,34 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, no mês de outubro e o *Eucalyptus* teve aumento gradativo na estação seca, mas foi no mês de dezembro que apresentou a maior biomassa, com 342,05 kg ha<sup>-1</sup> (solo argiloso) e 1.010,78 kg ha<sup>-1</sup> (solo arenoso). A concentração dos nutrientes foi inversamente proporcional ao diâmetro das raízes, sendo que na floresta nativa, as concentrações de nutrientes de acordo com as classes diamétricas  $\leq 1$  e  $> 3$  mm foram respectivamente: 14,30 e 8,70 (N); 1,17 e 0,70 (P); 1,69 e 1,04 (K); 2,34 e 1,87 (Ca); 0,99 e 0,68 (Mg) g kg<sup>-1</sup> em solo argiloso e para solo arenoso 17,26 e 8,51 (N); 1,22 e 0,81 (P); 1,68 e 1,10 (K); 2,34 e 1,77 (Ca); 1,01 e 0,71 (Mg) g kg<sup>-1</sup>. Enquanto que na floresta plantada há uma redução na concentração 9,84 e 6,53 (N); 0,95 e 0,59 (P); 1,27 e 0,97 (K); 2,23 e 1,88 (Ca); 0,88 e 0,57 (Mg) g kg<sup>-1</sup> em solo argiloso e para solo arenoso 13,11 e 5,62 (N); 1,10 e 0,75 (P); 1,43 e 0,83 (K); 2,30 e 1,43 (Ca); 0,90 e 0,55 (Mg) g kg<sup>-1</sup>. Os nutrientes apresentaram-se distribuídos decrescentemente desta forma N>Ca>K>P>Mg, para todos os ambientes avaliados, além de haver a maior quantidade destes na superfície do solo, a floresta nativa foi superior ao plantio em todas as camadas avaliadas. Os nutrientes P, K e Mg apresentaram maiores valores de produção no período seco e o N e o Ca, no período chuvoso. A biomassa e os nutrientes foram superiores na floresta nativa, indicando o equilíbrio deste ecossistema.

**Palavras-chaves:** Floresta nativa, *Eucalyptus*, biomassa radicular, concentração de nutrientes, conteúdo de nutrientes, dinâmica de nutrientes.

## INTRODUÇÃO GERAL

A floresta amazônica possui um grande número de espécies arbóreas que se desenvolvem em ecossistemas de terra firme, várzea, igapó e submontana. O tipo florestal predominante é a floresta de terra firme que apresenta grande biomassa (Pires & Prance, 1985). Um levantamento na floresta tropical próximo a Manaus, Estado do Amazonas, apresentou 235 espécies de árvores acima de 5 cm de DAP (diâmetro à altura do peito ou 1,30 m da base do tronco) em um único hectare (Prance, 1986).

As formas atuais de uso da terra na Amazônia têm sido apontadas como sistemas improdutivos e insustentáveis. Sendo assim, a remoção da cobertura vegetal tem sido considerada como uma forma de uso: (i) abusiva ao solo; (ii) que extrai nutrientes sem reposição; (iii) causa irreversibilidade das perdas de solo, devido à exposição do solo a erosão, compactação e tornando-o impermeável; e (iv) devido ao processo de uso sucessivo sem reposição nutricional, leva à exaustão em poucos anos (Faminow, 1998; Gibson *et al.*, 2000).

No início da década de 90, a taxa anual de floresta natural convertida ultrapassava a taxa de estabelecimento de florestas plantadas na proporção 10 para 1 (Browder, 1993), fazendo com que a produção e o suprimento de madeira, em longo prazo, seja mais bem avaliado. Aumentar a taxa anual de estabelecimento de plantações pode ser usado para reduzir a pressão sobre as florestas naturais e ocupar áreas sem uso produtivo como florestas secundárias e áreas degradadas.

As florestas naturais têm desaparecido. Governos e empresas têm voltado seus esforços para o estabelecimento de plantações florestais, para suprir a demanda por madeira. Em alguns lugares, as plantações vêm conseguindo responder com sucesso ao investimento no setor, mas em outros não. Os fracassos há algum tempo, foram devidos a fatores tais como, falta de adaptação das espécies ao clima e ao solo, ou a surtos de pragas e doenças. De qualquer maneira, freqüentemente têm ocorrido falhas por causa de problemas sociais. Crescimento da população rural, tamanho e distribuição de terras, extração madeireira e expansão da agricultura são reconhecidos largamente, como fatores que contribuem para a degradação e o esgotamento das florestas (Hafner & Apichatvullop, 1990).

As florestas podem ser plantadas para: produção de fibras, madeira ou outros produtos florestais, recreação, proteção ambiental, e para a recuperação dos ecossistemas degradados resultantes de diferentes forças, principalmente a atividade humana (Harrington, 1999), além de terem sido uma resposta para o problema do esgotamento das fontes de madeira. Têm sido repetidamente apontadas como a solução dos problemas econômicos, silviculturais e logísticos associados com a utilização da floresta tropical nativa para a produção de madeira, podendo ser a mais rápida solução para a produção de madeira manejada (Rankin, 1985).

Uma grande vantagem de se estabelecer plantações florestais é a sua grande produtividade, apresentando elevadas taxas de crescimento e curta rotação. Anualmente, as taxas para as plantações tropicais, ficam em torno de 25 a 35 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Sedjo, 1984) e em sítios melhores, com elevado nível de tecnologia, podem chegar em torno de 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Simões *et al.*, 1980), enquanto que a floresta tropical úmida em média é de 1,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Silva *et al.*, 1999). A desvantagem que poderá ocorrer, associada às plantações, é a possibilidade de degradação ambiental, envolvendo mudanças no regime hidrológico local, declínio na fertilidade do solo e mudanças no microclima (Lima, 1987).

Nos programas de reflorestamento e plantações florestais para produção de madeira, o *Eucalyptus* vem assumindo um importante papel, por causa de seu crescimento rápido, mas ainda necessita de muito estudo, objetivando melhorias nas taxas de crescimento, tronco reto e sem galhos, qualidade da madeira, alta capacidade de rebrotar e tolerâncias à salinidade e à geada (Eldridge *et al.*, 1993).

No Brasil, a estimativa para o estabelecimento de novas plantações é de 135.000 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Atualmente, conta com aproximadamente 5 milhões de hectares de plantações florestais, integradas por espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (2.964.000 ha) e possui mais de 30 milhões de hectares de áreas protegidas que incluem muitos parques e reservas do governo (PLANTATION..., 2000).

A necessidade de manejar plantações florestais nos trópicos já foi demonstrada no Projeto Jari (Monte Dourado, Almeirim-PA-Brasil), onde plantios de *Gmelina arborea* tinham alta demanda por nutrientes, requerendo fertilização, porque árvores desta espécie foram plantadas em solos pobres em nutrientes (Fearnside & Rankin, 1982). Questões terão que ser respondidas sobre a eficiência do uso de nutrientes em diferentes plantios, sobre a sustentabilidade nutricional de várias rotações em uma mesma área, sobre os impactos do cultivo intensivo de árvores e os relativos impactos de diferentes colheitas e técnicas de manejo de plantações sobre as reservas de nutrientes do solo.

A matéria orgânica do solo é criada como um resultado da produção de serapilheira, ou seja, a produção primária combinada com o C da fotossíntese, a fixação do N por meio de associação microbiológica ou reciclado no solo, e o P de origem mineral ou reciclado, resultando na biomassa da planta (Tiessen & Shang, 1998).

Em um estudo realizado no Brasil, Montagnini *et al.* (1995) avaliando o potencial de plantações florestais mistas, encontrou valores para a concentração dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg, 1,15; 0,02; 0,06; 0,82 e 0,17 %, respectivamente, e em floresta primária foi encontrado 1,71; 0,02; 0,09; 1,49 e 0,18 %, respectivamente, e, por último a floresta secundária 1,78; 0,03; 0,13; 1,53 e 0,23 %, respectivamente para os nutrientes, indicando concentração em ordem decrescente, onde floresta secundária > floresta nativa > plantações florestais mistas.

Em Porto Rico, para florestas experimentais plantadas com 26 anos de idade, a produtividade de serapilheira variou entre 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> (*Hemandia sonora*) a 27,2 Mg ha<sup>-1</sup> (*Pinus caribaea* var.

*hondurensis*). Já as concentrações de nutrientes acumulados na liteira de *Pinus caribaea* fora de 55,4; 2,1; 15,0; 83,5 e 17,1 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. A espécie *Swietenia macrophylla*, de ocorrência natural na Amazônia, possui uma produtividade de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de liteira e nutrientes iguais a 139,9; 4,1; 33,8; 200,8 e 35,1 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente (Lugo *et al.*, 1990). Na recuperação de áreas degradadas de pastagens em Porto Rico, plantações de *Albizia lebbek* produziram biomassa equivalente a 4.660 g m<sup>-2</sup> e nutrientes iguais a 40,8; 1,27; 37,3; 29,9 e 4,98 g m<sup>-2</sup> de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente (Parrotta, 1992).

Os sistemas radiculares das plantas desempenham três funções fundamentais: (1) manter a planta fixa ao substrato; (2) absorver água e sais minerais; e (3) produzir hormônios reguladores de crescimento (Raven *et al.*, 1992; Mauser, 1995; Stern, 2000).

Algumas espécies vegetais apresentam modificações na morfologia de suas raízes, fugindo do padrão presente na maioria das espécies. Na tentativa de adaptação aos mais diversos ambientes, elas desenvolveram estruturas que desempenham funções essenciais à sobrevivência da espécie. Como exemplo dessas adaptações têm-se as raízes adventícias, pneumatóforos, raízes aéreas, raízes tabulares (sapopemas) e ainda, outras adaptações ou associações semióticas com fungos e bactérias.

O sistema radicular de árvores tropicais apresenta muita variação e muitas vezes diferencia-se em morfologia e funções. Muitas espécies, ao emitirem as raízes no solo, provocam o crescimento de raízes adventícias, a partir do tronco ou galhos, formando os tipos de raízes conhecidas na Amazônia por sapopemas, que crescem a partir da base do tronco das árvores e são comuns nas florestas tropicais do mundo, e também fazem parte do sistema radicular. Em alguns solos sem drenagem eficiente, como os de mangues ou igapós, algumas espécies desenvolvem estruturas especializadas em raízes aéreas, que são utilizadas para suprir a pouca oxigenação no solo. Estas estruturas (pneumatóforos) de varias espécies, que também fazem parte do sistema radicular, são notavelmente características fisionômicas de florestas tropicais (Richards, 1996). Por exemplo, *Goupia glabra*, *Caryocar villosum*, *Platonia insignis*, dentre outras, quando caem ou são cortadas rente ao solo, brotamentos surgem a partir das raízes e muito destes formam novas árvores, sendo o sistema radicular dessas espécies um fator fundamental para a sua permanência no ecossistema (Pires & Prance, 1985).

O sistema radicular de parte das plantas apresenta relação simbiótica, onde o fungo supre a planta com nutrientes inorgânicos, especialmente P, e em troca, o fungo recebe nutrientes orgânicos da planta (Mukerji *et al.*, 2000; Varma & Hock, 1999; Varma, 1998) e, nas raízes de algumas leguminosas são formados nódulos que caracterizam a relação simbiótica entre bactérias do gênero *Rhizobium* ou *Bradyrhizobium* e espécies desta família de plantas, onde a bactéria fixa o nitrogênio (N<sub>2</sub>) da atmosfera do solo. Então, a planta tem a sua disposição o nitrogênio, e a bactéria obtém nutrientes orgânicos em troca (Legocki *et al.*, 1997; Srivastava & Singh, 1999).

Desta forma, espera-se avaliar o sistema radicular como um importante componente da planta, não apenas como extrator de nutrientes e água, mas como contribuinte, através de sua dinâmica, para a ciclagem de nutrientes.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo Geral**

Caracterizar e analisar a dinâmica de raízes em ecossistemas de floresta tropical úmida e floresta plantada com o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis), por meio da quantificação e qualificação de raízes, verificando os efeitos do manejo intensivo da floresta plantada comparada com a floresta natural sem alteração.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- a) Diferenciar o estoque total de raízes nos ecossistemas de floresta nativa e floresta plantada;
- b) Quantificar a biomassa radicular por classes diamétricas  $\leq 1$ ,  $1 < d \leq 3$ ,  $> 3$  mm e raízes mortas, diferenciando-se a produção nos ecossistemas;
- c) Avaliar a dinâmica e o efeito da sazonalidade sobre a biomassa de raízes;
- d) Quantificar e diferenciar a concentração dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg, na biomassa radicular dos ecossistemas de floresta nativa e floresta plantada;
- e) Avaliar a dinâmica dos nutrientes nas classes de tamanhos das raízes ( $\leq 1$ ,  $1 < d \leq 3$ ,  $> 3$  mm).

## **2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

### **2.1. Histórico do Projeto Jari**

Em 1967, o empresário americano Daniel Keith Ludwig, adquiriu a empresa Jari Indústria e Comércio de um grupo de portugueses, que anteriormente a haviam comprado do Coronel José Júlio de Andrade. Com uma área de 1.734.606,01 ha na região do rio Jari, criando, logo depois, a Jari Florestal e Agropecuária Ltda., Ludwig decidiu produzir celulose de alta qualidade e papel a partir do reflorestamento (HISTÓRICO..., 2002).

Entre os anos de 1968 e 1980 foram desmatados e reflorestados 106.142 hectares. A madeira de lei era, em parte, retirada para serraria, sendo utilizada em construções de portas, janelas, coberturas de

casas, construções agropecuárias, etc. e o restante da mata era queimada. Este processo aconteceu até a fábrica de celulose entrar em operação. A partir daí, toda a madeira foi aproveitada para a caldeira de força e serraria. O viveiro situado na localidade de São Miguel, eqüidistante das áreas em que seriam efetuados os plantios, produzia anualmente uma média de 35 milhões de mudas de *Gmelina arborea* e *Pinus* sp. Na década de 80 foi iniciada a produção de mudas do gênero *Eucalyptus* (Lins, 1997).

Apesar de exaustivos estudos, a *Gmelina arborea* apresentou problemas de adaptabilidade aos solos da região e susceptibilidade ao ataque de fungos, comprometendo seu rendimento florestal. As espécies que melhor se adaptaram foram dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Atualmente, somente *Eucalyptus* é plantado para produção de celulose (HISTÓRICO..., 2002).

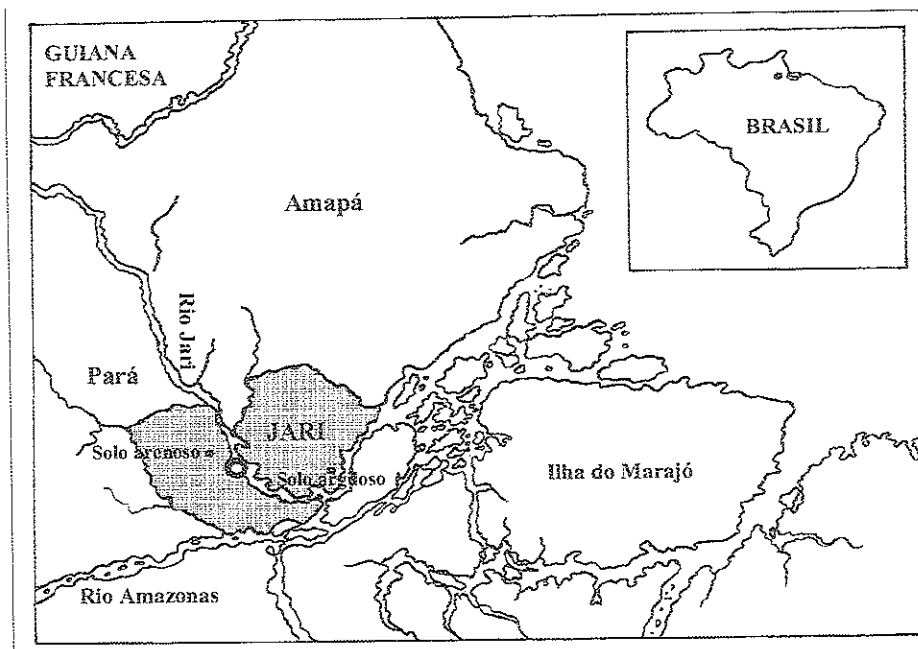
Em 1983, o controle acionário do Projeto Jari passou para um consórcio de 23 empresas brasileiras, lideradas pelo Grupo CAEMI, que criou a JARCEL Celulose S/A, para cuidar da parte operacional. Em 2000, a família Amoroso (Grupo Orsa) apresentou a melhor proposta para a reestruturação do endividamento do projeto, assumindo o controle acionário. Nesse mesmo ano, as atividades de produção de madeira cultivada foram certificadas pela ISO 14001. No final de 2001, a empresa passou a ser denominada de Jari Celulose S/A

## 2.2. Área de Estudo

O presente estudo foi conduzido em área da Empresa Jari Celulose S/A, por ser um local que ofereceu uma situação em que puderam ser comparados sistemas naturais com artificiais. As áreas plantadas são submetidas ao manejo intensivo e estão próximas da floresta primária, que não foi submetida à intervenção humana e encontra-se na forma de reserva legal da Empresa.

A área da Jari Celulose localiza-se no Município de Almeirim (Distrito Monte Dourado- 450km à Oeste de Belém), Estado do Pará, às margens do rio Jari, estendendo suas áreas ao Estado do Amapá (Figura 1), entre os paralelos 0° 30' e 1° 30' S e os meridianos 52° 40' e 53° 40' W (Rollet, 1980).

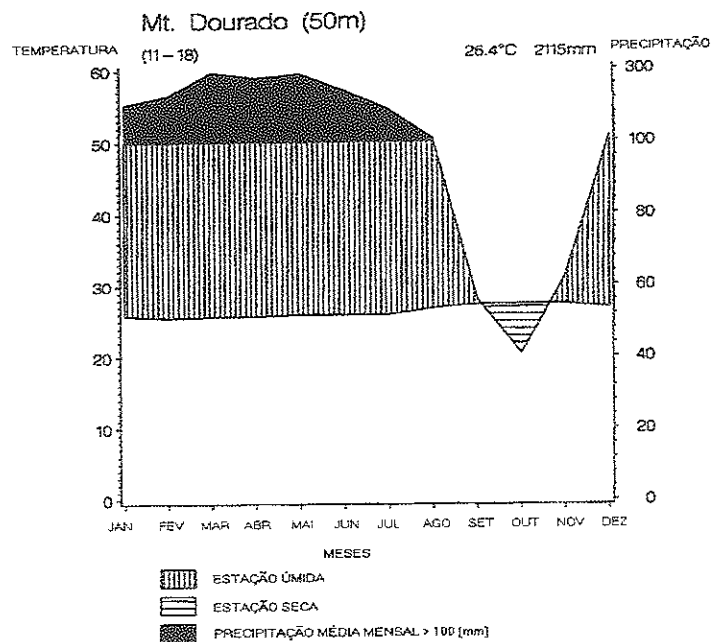
Neste estudo, foram selecionadas duas áreas com as seguintes particularidades: ecossistemas de floresta plantada com o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis) e floresta nativa característica da região amazônica, dispostas paralelamente e separadas por uma estrada vicinal de 4,0 m de largura. As áreas de estudo são denominadas, pela Empresa, de Morro do Felipe, localizada nas coordenadas geográficas 52° 23' W e 0° 52' S e 150 m de altitude. A segunda área, conhecida como São Militão, está entre as coordenadas 52° 40' W e 0° 46' S, a 105 m de altitude.



**Figura 1-** Mapa de localização da área do Projeto Jari, atualmente da Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA, onde foram instalados os estudos do presente trabalho.

### 2.3. Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima pertence ao tipo Am, possuindo características intermediárias entre Af e Aw, cujo regime pluviométrico define uma curta estação seca. A precipitação anual é de 2.115 mm, variando de 290 mm no mês de maio a 41 mm no mês de outubro, com uma distinta estação seca entre os meses de setembro e novembro (Figura 2). A temperatura média anual é de 26,4° C (Corrêa *et al.*, 1989).



**Figura 2** - Diagrama climático de observações da precipitação e temperatura na Estação Meteorológica da Empresa Jari Celulose S/A, construído por Spanberg *et al.* (1996), baseado em dados de Corrêa *et al.* (1989).

#### 2.4. Solos

As áreas de estudo são compostas de Latossolo Amarelo Álico, textura muito argilosa (Morro do Felipe) e Latossolo Amarelo Álico, textura arenosa/média (São Militão).

Nas análises de solos das áreas do experimento (Tabela 1), o P disponível, e o K, o Ca e o Mg trocáveis apresentaram valores baixos para todas as áreas. A acidez foi considerada média, para a área argilosa, e alta para a área arenosa. A matéria orgânica (MO), em média, foi alta; o Al trocável teve valores médios, para todos os ambientes de estudo, e a saturação de bases foi alta.

**Tabela 1-** Análise de solo da área experimental, na profundidade de 0-20 cm, Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

| Área            | Textura  | Vegetação | pH<br>H <sub>2</sub> O | C<br>org | MO    | P<br>disp. | K<br>troc. | Ca<br>troc. | Mg<br>troc. | Al<br>troc. | H + Al<br>troc. | CTC  | %m    |
|-----------------|----------|-----------|------------------------|----------|-------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|------|-------|
| Morro do Felipe | Argilosa | Nativa    | 5,03                   | 28,96    | 49,82 | 1,18       | 0,06       | 0,09        | 0,34        | 1,47        | 9,49            | 9,97 | 75,16 |
|                 |          | Plantada  | 5,13                   | 17,94    | 30,88 | 1,58       | 0,04       | 0,45        | 0,39        | 0,84        | 4,91            | 5,79 | 49,05 |
| São Militão     | Arenosa  | Nativa    | 4,70                   | 15,06    | 22,45 | 3,90       | 0,02       | 0,26        | 0,19        | 1,11        | 6,51            | 6,98 | 70,21 |
|                 |          | Plantada  | 4,53                   | 17,44    | 30,01 | 4,30       | 0,02       | 0,09        | 0,25        | 1,14        | 4,91            | 5,27 | 76,21 |

Legenda: pH = Método potenciométrico relação 1:2,5; Corg, g kg<sup>-1</sup> TFSA - Método de Walkley-Black; MO, em g kg<sup>-1</sup> TFSA + Corg x 1,724; P disponível, mg dm<sup>-3</sup> TFSA - Extrator Mehlich 1; K trocável, em cmolc dm<sup>-3</sup> - extrator Mehlich 1; Ca e Mg trocáveis, em cmolc dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1M; Al trocável, em cmolc dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1M; Ca e Mg trocáveis, em cmolc dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1M.

## 2.5. Vegetação

A vegetação natural é a floresta tropical úmida, classificada como equatorial subperenifolia (EMBRAPA, 1988).

Levantamento fitossociológico da floresta nativa das duas áreas (Silva *et al.*, 2000), encontrou para a área argilosa as famílias de maiores riquezas Sapotaceae, Mimosaceae e Caesalpiniaceae, com 22,64 % e o IVI (Índice de Valor de Importância) foi maior para as famílias Sapotaceae e Lecythydaceae. As espécies mais importantes com maior dominância relativa foram *Licania heteromorpha*, *Pouteria caimito*, *Eschweilera ovata* e *Lecythis idatimon*. Na área arenosa, as famílias Mimosaceae, Sapotaceae, Fabaceae e Lauraceae apresentaram maior riqueza com 37,85 % e as famílias Fabaceae, Mimosaceae e Chrysobalanaceae com maiores IVI, *Hymenolobium petraeum* e *Aspidosperma rigidum* apresentaram maior dominância relativa. A área basal foi de 30,05 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, para área argilosa, e 73,05 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, para área arenosa.

No início da implantação do Projeto Jari, a cobertura vegetal nativa foi removida para a implantação de espécies exóticas (*Gmelina arborea*, *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp.). A espécie que melhor se adaptou ao clima e aos solos da região foi o *Eucalyptus* sp. Atualmente, a Empresa Jari Celulose vem cultivando o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis), com excelentes resultados em adaptação e produtividade.

O plantio da área argilosa (Morro do Felipe) foi implantado em dezembro de 1996, no espaçamento 3,0 x 3,0 m (1.111 árvores ha<sup>-1</sup>), com sobrevivência de 97 % das árvores. Com a mensuração realizada em outubro de 2001, obtiveram-se médias de diâmetro de 15,3 cm, altura 23,5 m, volume/ha 252,24 m<sup>3</sup>, área basal de 21,45 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e IMA (Incremento Médio Anual) foi 51,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

O plantio na área arenosa foi realizado em abril de 1994, no espaçamento de 3,0 x 3,0 m (1.111 árvores ha<sup>-1</sup>) e 71 % de sobrevivência. A última mensuração da área (outubro de 2001) obteve médias de

15,7 cm de diâmetro, 19,9 m de altura, volume de  $170 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , área basal  $15,25 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  e  $22,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de IMA.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROWDER, J.O. Alternative rainforest uses. In: PLACE, S.E. (Ed.). Tropical rainforests: Latin American nature and society in transition. Wilmington, Del.: Scholarly Resources, 1993. p.200-209.

CORRÊA, J.J.L.; JACOMINE, P.K.T.; SANTOS, R.D. Solos do Jari. Rio de Janeiro: Companhia Florestal Monte Dourado, 1989. 128p.

ELDRIDGE, K. et al. Eucalypt domestication and breeding. Oxford: Clarendon Press, 1993. 286p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Crerios para descrião de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67p.

FAMINOW, M.D. Cattle, deforestation, and development in the Amazon: an economic, agronomic, and environmental perspective. London: CAB International, 1998. 253p.

FEARNSIDE, P.M.; RANKIN, J.M. Jari and Carajas: The uncertain future of large silvicultural plantations in the Amazon. Interciencia, v.7, n.6, p.326-328, 1982.

GIBSON, C.C.; McKEAN, M.A.; OSTRON, E. People and forests: communities, institutions and governance. London: Massachusetts Institute of Technology, 2000. 274p.

HAFNER, J.A.; APICHATVULLOP, Y. Farming the forest: managing people and trees in reserved forests en Thailand. Geoforum, v.21, p.331-346, 1990.

HARRINGTON, C.A. Forests planted for ecosystem restoration or conservation. New Forests, v.17, n.1-3, p.175-190, 1999.

HISTÓRICO da Empresa. s.l: JARI Celulose. Disponível em: <<http://www.jarcel.com.br>>. Acesso em: 11 jan 2002.

- LEGOCKI, A.; BOTHE, H.; PUHLER, A. Biology fixation of nitrogen for ecology and sustainable agriculture. Berlin: Springer, 1997. 328p.
- LIMA, N.W.P. O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais. São Paulo: Artpress, 1987. 114p.
- LINS, C. A Jari e a Amazônia. Rio de Janeiro: DATAFORMA, 1997. 160p.
- LUGO, A.E.; CUEVAS, E.; SANCHES, M.J. Nutrients and mass in litter and top soil of ten tropical tree plantations. Plant and Soil, v.125, p.263-280, 1990.
- MAUSETH, J.D. Botany: an introduction to plant biology. 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia: Saunders College, 1995. 794p.
- MONTAGNINI, F.; FANZERES, A.; VINHA, S.G. The potentials of 20 indigenous tree species for soil rehabilitation in the Atlantic forest region of Bahia, Brazil. Journal of Applied Ecology, v.32, p.841-856, 1995.
- MUKERJI, K.G.; CHAMOLA, B.P.; SINGH, J. Mycorrhizal biology. New York: Kluwer Academic: Plenum, 2000. 336p.
- PARROTTA, J.A. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.41, p.115-133, 1992.
- PIRES, J.M.; PRANCE, G.T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: PRANCE, G.T. & LOVEJOY, T.E. (Eds.). Key environments: Amazonia. Oxford: Pergamon Press, 1985. p. 109-145.
- PLANTATION areas 2000. s.l: FAO, 2000. Disponível em: <[http://www.fao.org/forestry/fo/country/is.jsp?geo\\_id=206&lang\\_id=1&page\\_id=443](http://www.fao.org/forestry/fo/country/is.jsp?geo_id=206&lang_id=1&page_id=443)>. Acesso em 10 set 2002.
- PRANCE, G.T. Introduction to tropical rain forests. In: PRANCE, G.T. (Ed.). Tropical rain forests and the world atmosphere. Boulder: Westview Press, 1986. 105p.

RANKIN, J.M. Forestry in the Brazilian Amazon. In: PRANCE, G.T. & LOVEJOY, T.E. (Eds.). Key environments: Amazonia. Oxford: Pergamon Press, 1985. p. 369-392.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. Biology of plants. 5<sup>th</sup> ed. New York: Worth Pub., 1992, 791p.

RICHARDS, P.W. The tropical rain forest: an ecological study. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996, 575p.

ROLLET, B. Jari: succès ou échec: un exemple de développement agro-sylvo-pastoral et industriel em Amazonie brésilienne. Revue Bois et Forêts des Tropiques, v.192, juillet-août, p.3-34, 1980.

SEDJO, R.A. An economic assessment of industrial forest plantation. Forest Ecology and Management, v.9, n.4, p.245-257, 1984.

SILVA, I.C.B. et al. Fitossociologia de um trecho de floresta em Monte Dourado, Almeirim-Pará. In: LBA CIENTIFIC CONFERENCE, 1., Book Abstract... Belém, 2000. p. 72.

SILVA, J.N.M. et al. Crescimento e produção de uma floresta tropical da Amazônia brasileira treze anos após a exploração. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do projeto EMBRAPA/DFID, 1999. Resumos expandidos... Belém: EMBRAPA-CPATU, 1999. p.186-189. (Documentos, 123).

SIMÕES, J.W.; COELHO, A.S.R.; MELLO, H.A. Crescimento e produção de madeira de eucalipto. IPEF, n.20, p.77-97, 1980.

SPANGENBERG, A. et al. Nutrient storage and export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazônia (Jari). Forest Ecology and Management, v.80, p.225-234, 1996.

SRIVASTAVA, H.S.; SINGH, R.P. Nitrogen nutrition and plant growth. Enfield: Science Publishers, 1999. 347p.

STERN, K.R. Introductory plant biology. 8<sup>th</sup> ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2000. 589p.

TIESSEN, H.; SHANG, C. Organic-matter turnover in tropical land-use systems. In: BERGSTRÖM, L. & KIRCHMANN, H. Carbon and nutrients dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems. London: CAB International, 1998, p.1-14.

VARMA, A. Mycorrhiza manual. Berlin: Springer, 1998. 542p.

VARMA, A.; HOCK, B. Mycorrhiza: structure, function, molecular biology, and biotechnology. 2<sup>nd</sup> ed. Berlin: Springer, 1999. 704p.

## CAPÍTULO I – BIOMASSA DE RAÍZES FINAS EM ECOSISTEMAS DE FLORESTA NATIVA E DE PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus* NA AMAZONIA ORIENTAL

**Resumo.** Na floresta tropical os retornos da matéria orgânica e dos nutrientes ao solo podem-se dar, principalmente, pela deposição do material orgânico, e as raízes participam como um dos elementos fundamentais nos processos que ocorrem abaixo do solo. Este trabalho tem por objetivo quantificar a biomassa radicular em florestas nativa e plantios de *Eucalyptus*. O presente estudo foi conduzido na área da Empresa Jari Celulose S/A, localizado no município de Almeirim (Monte Dourado), Estado do Pará, em Latossolos arenoso e argiloso. Para a coleta das raízes, retiraram-se amostras dos solos nas profundidades de 0-15 cm (camada superficial), 35-50 cm (camada intermediária) e 85-100 cm (camada profunda), removendo as partículas de solo das raízes, separando-as por classes diamétricas ( $\leq 1$ ,  $1 < 3$ ,  $> 3$  mm e raízes mortas) e obtendo seu peso seco. A biomassa radicular anual foi  $106,4 \text{ t ha}^{-1}$  (solo arenoso) e  $100,8 \text{ t ha}^{-1}$  (solo argiloso) na floresta nativa e na plantação de *Eucalyptus*,  $29,7$  e  $17,5 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente nos solos arenoso e argiloso, sendo que esta biomassa concentrou-se majoritariamente na camada superficial do solo, na área argilosa para a floresta nativa foi  $76,6 \text{ t ha}^{-1}$  e na floresta plantada  $9,3 \text{ t ha}^{-1}$ , e na área arenosa manteve a mesma tendência, sendo na floresta nativa  $70,0 \text{ t ha}^{-1}$  e no plantio  $17,0 \text{ t ha}^{-1}$ . A biomassa da floresta nativa foi superior a do plantio, em todas as classes diamétricas avaliadas e tendeu a concentrar maior biomassa nas classes de maior diâmetro, e quanto à variação sazonal, a biomassa teve grandes picos na estação seca para a floresta nativa, os solos argiloso e arenoso produziram  $2.938,26$  e  $2.965,34 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, no mês de outubro e o *Eucalyptus* teve aumento gradativo na estação seca, mas foi no mês de dezembro que apresentou a maior biomassa, com  $342,05 \text{ kg ha}^{-1}$  (solo argiloso) e  $1.010,78 \text{ kg ha}^{-1}$  (solo arenoso). Verifica-se então, que a biomassa radicular da floresta nativa é superior aos plantios.

**Palavras-chaves:** Floresta nativa, *Eucalyptus*, biomassa radicular.

## FINE ROOT BIOMASS IN NATURAL FOREST AND *Eucalyptus* PLANTATIONS ECOSYSTEMS IN EASTERN AMAZON

**Abstract.** In tropical forest the return of organic matter and nutrients to the soil can be given mainly from the deposition of the organic material, and the roots are one of the basic components that contribute to the processes that occur belowground. This work aims to quantify the root biomass in native forest and *Eucalyptus* plantations. The present study was located in Jari Celulose S/A Company, in the city of Almeirim (Monte Dourado), Pará State, in areas of sandy soil and clay soil. For root collection, soil samples were taken at the depths of 0-15 cm (superficial layer), 35-50 cm (intermediate layer) and 85-100 cm (deep layer), removing soil particles from the roots, separating into diameters classes ( $\leq 1$ ,  $1 < 3$ ,  $> 3$  mm and dead roots) and measuring its dry weight. Annual root biomass was  $106.4 \text{ t ha}^{-1}$  (sandy soil) and  $100.8 \text{ t ha}^{-1}$  (clay soil) in the native forest and  $29.7$  and  $17.5 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively in sandy soil and clay soil in the *Eucalyptus* plantation, the biomass was concentrated mainly in the superficial layer of the soil, with  $76.6 \text{ t ha}^{-1}$  in the clay soil for the native forest and  $9.3 \text{ t ha}^{-1}$  in clay soil of the planted forest. In the superficial layer of sandy soil the same trend appeared, being  $70.0 \text{ t ha}^{-1}$  in the native forest and  $17.0 \text{ t ha}^{-1}$  in the plantation. The biomass of the native forest was greater than in the plantation in all evaluated diameters classes and tended to concentrate most of the biomass in the bigger diameter class. In terms of seasonal variation, the biomass peak during the rainy period. In the native forest and plantation root biomass in clay soil was  $20.54 \text{ t ha}^{-1}$  (April) and  $3.53 \text{ t ha}^{-1}$  (February), respectively, and in sandy soil,  $22.29 \text{ t ha}^{-1}$  (December) and  $8.95 \text{ t ha}^{-1}$  (February), respectively. This study proves that root biomass of the native forest is greater than in planted forest.

**Key words:** Native forest, *Eucalyptus*, root biomass.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e atividade de raízes influenciam o crescimento das árvores em qualquer ecossistema, isto porque, as raízes representam o elo de conexão entre a planta e o solo (Ares & Peinemann, 1992).

A biomassa de raízes tem sido mensurada em plantas individuais, em comunidades de plantas e muitas vezes em ecossistemas representativos de todo o trópico. Estudos de ecologia tropical, especialmente com o propósito de avaliar os ciclos do carbono e nutrientes, resultaram em numerosas medidas dos tamanhos dos vários compartimentos, deste modo, as raízes têm uma participação efetiva nos processos que ocorrem abaixo do solo em ecossistemas tropicais (Sanford & Cuevas, 1996).

Avaliando a proliferação de raízes em solos arenosos no México, usando amostragem que chegava a 200 cm de profundidade do solo, Kellman (1990) verificou a distribuição vertical de raízes finas ( $<2$  mm de diâmetro). Nos 20 cm superiores do solo, foram encontrados aproximadamente  $370 \text{ g m}^{-2}$  e na profundidade de 120 a 140 cm,  $25 \text{ g m}^{-2}$ . Observa-se que a biomassa decresceu com o avanço na profundidade do solo, concentrando cerca de 54 % das raízes na camada superficial do solo (0 a 20 cm) e 3,6 % na camada inferior (120 a 140 cm).

Estudando a contribuição das raízes para o metabolismo do solo em uma floresta tropical na Índia, Behera *et al.* (1990) encontraram a biomassa de raízes finas ( $<1$  mm de diâmetro) variando de 32,4 a  $190,2 \text{ g m}^{-2}$ , para um total de 20 amostras, coletadas em forma de blocos de 20 cm x 20 cm x 50 cm em um solo Laterítico Vermelho. Por outro lado, Jordan & Escalante (1980) avaliando a produtividade das raízes na serapilheira em decomposição na superfície do solo, na floresta Amazônica Venezuelana, encontraram um valor médio de  $201 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  para raízes que chegaram a 6 mm de diâmetro, desenvolvendo-se sobre um solo arenoso, característico da região Amazônica.

Avaliando-se a distribuição e o estoque de raízes em um ecossistema de floresta tropical com dossel aberto e fechado em quatro diferentes áreas, no sul da Índia, observaram-se os seguintes resultados: i) sob dossel aberto a biomassa radicular média foi  $570,23$  ( $\leq 1$  mm de diâmetro),  $275,63$  ( $>1-\leq 3$  mm) e  $2.233,31 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  ( $>3$  mm); ii) sob dossel fechado, o estoque foi  $570,42$  ( $\leq 1$  mm),  $311,95$  ( $>1-\leq 3$  mm) e  $3.142,30 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  ( $>3$  mm) de biomassa de raízes (Sundarapandian & Swamy, 1996), verificando que a classe de maior diâmetro produziu maior biomassa. Entretanto, Pavlis & Jeník (2000) estudando áreas de agricultura tradicional evoluindo após abandono, característico da agricultura itinerante praticada na região da Amazônia Colombiana, encontraram 455, 878, 938, 1491, 1371, 2083 e  $3924 \text{ g m}^{-2}$  para áreas coberta por ervas, agricultura tradicional, com 6 anos, 18 anos, 25 anos, 37 anos regenerando e floresta madura, respectivamente. Cerca de 88% se concentravam nas classes  $<2$  mm de diâmetro (raízes finas).

Em plantações florestais o espaçamento de plantio deve ser proposto adequado para que as copas e as raízes se desenvolvam sem entrar em competição por água e nutrientes presentes no solo. No entanto, na parte aérea da planta pode-se detectar quando a competição ocorre acima do solo, mas nas raízes é difícil o acompanhamento do desenvolvimento de sua arquitetura (Wilson, 1988).

A biomassa de raízes em plantações florestais é bem menor que em áreas nativas. Em plantações podem ocorrer variações na biomassa radicular para cada espécie independentemente, e essas raízes tendem a se concentrar na superfície do solo. Quando diferentes espécies são plantadas em uma mesma área, geralmente a que apresenta maior número de indivíduos possui maior biomassa e ainda, pode ocorrer a restrição do crescimento radicular de uma espécie em benefício da outra (quando são povoadas em iguais proporções). Em plantios com diferentes idades, a tendência é maior biomassa de raízes nas árvores de maior idade e ainda concentram-se nas raízes de maior diâmetro (Vanninen *et al.*, 1996).

Em estudo com biomassa radicular  $< 2$  mm de diâmetro (Ares & Peineman, 1992), *Pinus halepensis* teve uma produção total de raízes que variou de 2.727 a 8.995 kg ha<sup>-1</sup>, *Pinus radiata* foi de 2.910 a 10.421 kg ha<sup>-1</sup>, *Cedrus deodora* teve maior produção que as outras espécies, variando de 2.602 a 55.833 kg ha<sup>-1</sup>, e por último *Cupressus sempervirens* tendo uma produção de 4.238 e 12.543 kg ha<sup>-1</sup>. Em média 45% das raízes das espécies foram encontradas na camada superficial do solo (0-10 cm) e cerca de 12% na profunda (35-50cm).

Avaliou-se a distribuição da biomassa radicular  $< 2$  mm, nas camadas 0-15 e 15-30 cm de profundidade do solo, em plantios mistos de *Eucalyptus globulus* e *Acacia mearnsii* desenvolvidos na Austrália, em diferentes proporções (Bauhus *et al.*, 2000). Para os tratamentos: i) 100 % *Acacia* a biomassa foi 287 (0-15 cm) e 134 g m<sup>-2</sup> (15-30 cm); ii) 100 % *Eucalyptus* apresentou 231 (0-15 cm) e 122 g m<sup>-2</sup> (15-30 cm), e; iii) 50 % *Eucalyptus* + 50 % *Acacia*, a biomassa de raízes para o *Eucalyptus* foi 153 (0-15 cm) e 43 g m<sup>-2</sup> (15-30 cm) e a *Acacia* teve 182 (0-15 cm) e 98 g m<sup>-2</sup> (15-30 cm).

Em regiões tropicais, geralmente, o preparo da área para a agricultura e/ou plantio florestal é feito com corte e queima da vegetação. Castellanos *et al.* (2001) examinaram os efeitos desse tipo de preparo sobre a biomassa e o estoque de raízes finas ( $\leq 1$  mm) em uma floresta tropical no México. Esses autores observaram que a biomassa radicular na profundidade de 0-10 cm reduziu de 53,3 para 39,4 g m<sup>-2</sup>, um dia após a queima. Em outro estudo, Schilling *et al.* (1999) estudaram a influência de dois regimes de colheita de árvores sobre a dinâmica das raízes finas. Com o corte de todas as árvores da área, o estoque de raízes foi 308,7 g m<sup>-2</sup>; com corte parcial de 50 % das árvores, reduziu para 278,5 g m<sup>-2</sup>; e menor dentro da área sem intervenção (171,9 g m<sup>-2</sup>). Indicando que o impacto da colheita produziu aumento na biomassa radicular. Martins *et al.* (1997), também avalia as alterações sofridas na biomassa radicular de uma floresta de *Eucalyptus grandis* após o corte das árvores, em São Carlos-SP. As raízes finas tiveram um aumento de 1.131,7 a 1.379,9 g cepa<sup>-1</sup>, nos períodos 0 (zero) e 60 dias, respectivamente, após o corte, e

reduziu significativamente de 585,1 para 286,9 g cepa<sup>-1</sup>, 120 e 180 dias após o corte das árvores, respectivamente.

Desta forma, observa-se que a biomassa radicular tem uma importância fundamental nos processos que ocorrem abaixo do solo. São poucos os trabalhos que detalham a distribuição da biomassa radicular em ecossistemas florestais na Amazônia, e como esta ocorre em ecossistemas artificiais ou degradados.

O presente estudo teve como objetivo quantificar e avaliar a dinâmica da biomassa de raízes ( $\leq 1$ ,  $1 < 3$ ,  $> 3$  mm e raízes mortas) nos ecossistemas de floresta nativa e floresta plantada com o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis), através das distribuições diamétrica e no perfil do solo.

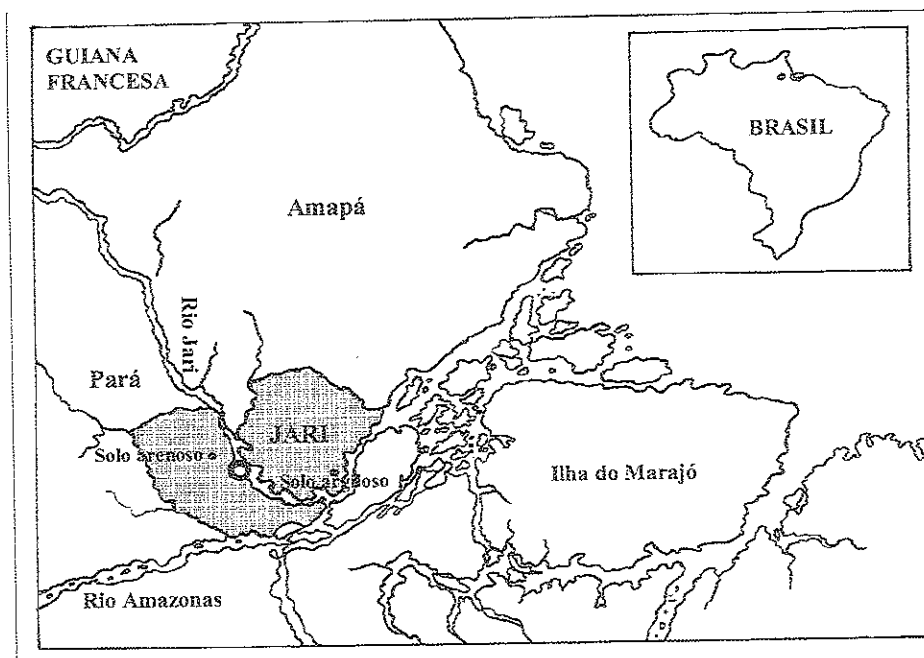
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da Área

O presente estudo foi conduzido em área da Empresa JARI Celulose S/A, por ser um local que ofereceu uma situação em que puderam ser comparados sistemas naturais com artificiais.

A área da JARI Celulose localiza-se no Distrito Monte Dourado, Município de Almeirim (450 km à Oeste de Belém), Estado do Pará, às margens do rio Jari, estendendo suas áreas ao Estado do Amapá (Figura 1), entre os paralelos 0° 30' e 1° 30' S e os meridianos 52° 40' e 53° 40' W (Rollet, 1980).

Para este estudo, selecionaram-se duas áreas com as seguintes particularidades: ecossistemas de floresta plantada com o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis) e floresta nativa característica da região amazônica. As áreas de estudo são denominadas pela Empresa, de Morro do Felipe, localizada nas coordenadas geográficas 52° 23' W e 0° 52' S e 150 m de altitude. A segunda área é conhecida como São Militão, entre as coordenadas 52° 40' W e 0° 46' S, a 105 m de altitude.



**Figura 1-** Mapa de localização da área da Empresa JARI Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA, onde foram instalados os estudos do presente trabalho.

Segundo a classificação proposta por Köppen, o clima pertence ao tipo Am, possuindo características intermediárias entre Af e Aw, cujo regime pluviométrico define uma curta estação seca. A precipitação anual é de 2.115 mm, variando de 290 mm no mês de maio a 41 mm no mês de outubro, com uma distinta estação seca entre os meses de setembro e novembro. Com temperatura média anual de 26,4° C (Corrêa *et al.*, 1989).

As áreas de estudo são compostas de Latossolo Amarelo Álico, textura muito argilosa (Morro do Felipe) e Latossolo Amarelo Álico, textura arenosa/média (São Militão).

A vegetação natural é a floresta tropical úmida, classificada como equatorial subperenifólia (EMBRAPA, 1988).

Levantamento fitossociológico da floresta nativa das duas áreas (Silva *et al.*, 2000), encontrou para a área argilosa as famílias de maiores riquezas Sapotaceae, Mimosaceae e Caesalpiniaceae, com 22,64 % e o IVI (Índice de Valor de Importância) foi maior para as famílias Sapotaceae e Lecythidaceae. As espécies mais importantes com maior dominância relativa foram *Licania heteromorpha*, *Pouteria caimito*, *Eschweilera ovata* e *Lecythis idatimon*. Na área arenosa, as famílias Mimosaceae, Sapotaceae, Fabaceae e Lauraceae apresentaram maior riqueza com 37,85 % e as famílias Fabaceae, Mimosaceae e Chrysobalanaceae com maiores IVI, *Hymenolobium petraeum* e *Aspidosperma rigidum* apresentaram

maior dominância relativa. A área basal foi de 30,05 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, para área argilosa, e 73,05 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, para área arenosa.

No início da implantação do Projeto Jari, a cobertura vegetal nativa foi removida para a implantação de espécies exóticas (*Gmelina arborea*, *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp.). A espécie que melhor se adaptou ao clima e aos solos da região foi o *Eucalyptus* sp. Atualmente, a Empresa Jari Celulose vem cultivando o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis), com excelentes resultados em adaptação e produtividade.

O plantio da área argilosa (Morro do Felipe) foi implantado em dezembro de 1996, no espaçamento 3,0 x 3,0 m (1.111 árvores ha<sup>-1</sup>), com sobrevivência de 97 % das árvores. Com a mensuração realizada em outubro de 2001, obtiveram-se médias de diâmetro de 15,3 cm, altura 23,5 m, volume/ha 252,24 m<sup>3</sup>, área basal de 21,45 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e IMA (Incremento Médio Anual) foi 51,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

O plantio na área arenosa foi realizado em abril de 1994, no espaçamento de 3,0 x 3,0 m (1.111 árvores ha<sup>-1</sup>) e 71 % de sobrevivência. A última mensuração da área (outubro de 2001) obteve médias de 15,7 cm de diâmetro, 19,9 m de altura, volume de 170 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, área basal 15,25 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e 22,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de IMA.

## 2.2. Metodologia

As coletas foram realizadas no decorrer de um ano, sendo seis coletas bimestrais, iniciando-se em agosto de 1999 e encerrando-se em junho de 2000, atingindo um período seco e um período chuvoso, para avaliar o efeito da sazonalidade sobre a produção de biomassa e nutrientes das raízes.

Demarcou-se a área de coleta, mantendo a distância de 50 m entre as parcelas e penetrando 80 m no interior das florestas plantadas e nativas, para evitar o efeito de borda (Figura 2). Instalaram-se parcelas de 6 m x 6 m, identificando-se as extremidades com códigos, facilitando-se, assim, os processos de coleta e identificação do material.

O experimento ficou distribuído em quatro parcelas compostas, em cada ecossistema, nas áreas do Morro do Felipe e São Militão. Cada parcela ficou constituída de quatro sub-parcelas, onde nestas realizaram-se as coletas da biomassa radicular. As amostras foram retiradas nas profundidades de 0-15, 35-50 e 85-100 cm, mantendo-se a distância sistemática de 6 m entre as perfurações de cada período de coleta. As coletas foram realizadas com um auxílio de um trado tipo sonda, com um cilindro na extremidade, que possuía a capacidade de armazenar um volume de 275,053 cm<sup>3</sup> de material.

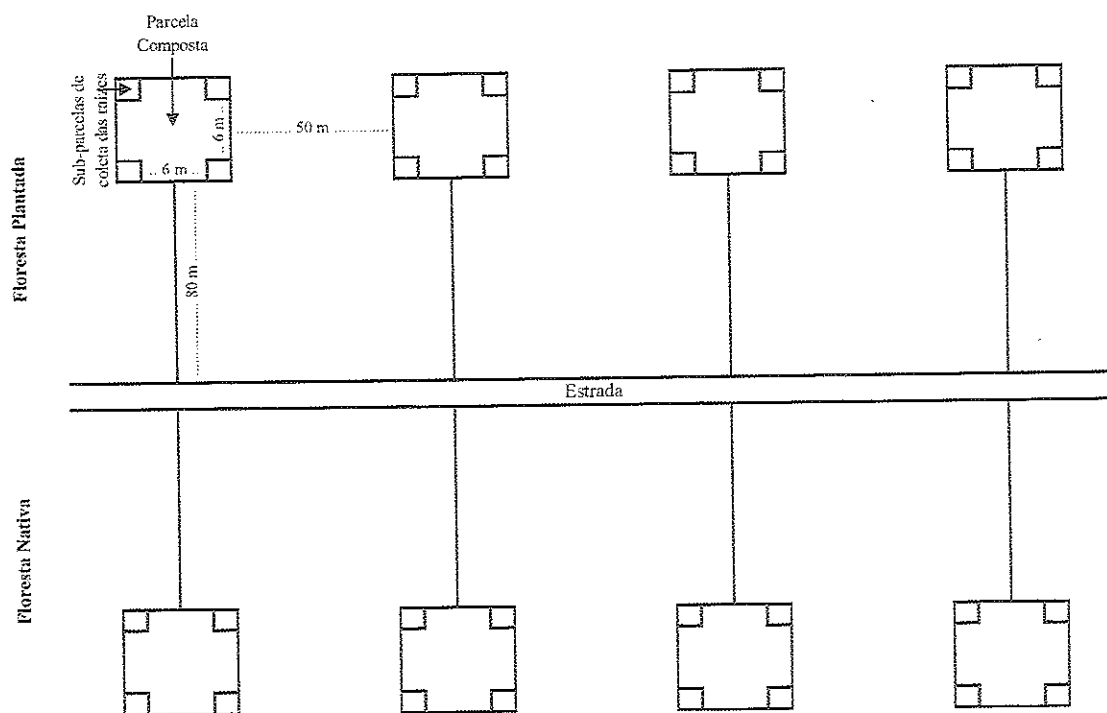


Figura 2- Representação esquemática do experimento montado para a coleta da biomassa radicular. Empresa JARI Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis e enviadas a Belém, para o Laboratório de Ecologia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará.

As amostras foram lavadas, e as partículas do solo removidas com o auxílio de peneiras até a obtenção das raízes desprovidas de outros materiais agregados. Realizou-se a triagem das raízes, classificando-as nas classes diamétricas  $\leq 1$ ,  $1 < 3$ ,  $> 3$  mm e raízes mortas, e levadas a uma estufa a 70° C, por um período de 24 horas. Após esse período, realizou-se a pesagem da biomassa radicular seca em uma balança analítica de precisão ( $\pm 0,00001$  g).

Na análise estatística dos dados foi utilizado o programa SAS System (SAS, 1988). Comparou-se médias de tratamentos através do teste t. Verificou-se os efeitos dos solos argiloso e arenoso comparando a biomassa radicular (raízes mortas,  $\leq 1$ ,  $1 < 3$  e  $> 3$  mm) dos ecossistemas (nativa x nativa, plantada x plantada e nativa x plantada). Realizou-se também a ANOVA (Análise de Variância) para verificar a significância das médias dentro dos blocos e dos ecossistemas.

### 3. RESULTADOS

Quando são comparados os estoques de biomassa radicular nos ecossistemas de floresta nativa e plantada, dentro de um mesmo tipo de solo, existem diferenças significativas de acordo com o teste t, ao nível de 99 % de probabilidade (Tabela 1). Quando são comparados os ecossistemas presentes nas duas áreas (argilosa e arenosa), observa-se que não existem diferenças significativas no estoque de raízes nas classes diamétricas  $>1\leq 3$  e  $>3$  mm, para as florestas nativas e plantadas, assim como no total da biomassa radicular nas florestas nativas das áreas argilosa e arenosa (Tabela 2).

**Tabela 1-** Médias de biomassa radicular ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos ecossistemas, na área da Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

| Ecossistema          | Mortas   | $\leq 1\text{mm}$ | $>1\leq 3\text{mm}$ | $>3\text{mm}$ | Total    |
|----------------------|----------|-------------------|---------------------|---------------|----------|
| <b>Solo Argiloso</b> |          |                   |                     |               |          |
| Nativa               | 503,99a  | 826,72a           | 1282,08a            | 3001,84a      | 5614,63a |
| Plantada             | 196,18b  | 101,13b           | 218,29b             | 463,65b       | 979,25b  |
| <b>Solo Arenoso</b>  |          |                   |                     |               |          |
| Nativa               | 1021,80a | 1304,74a          | 1325,18a            | 2295,03a      | 5946,75a |
| Plantada             | 419,44b  | 369,15b           | 267,47b             | 617,83b       | 1673,89b |

Nota: Médias entre ecossistemas seguidas da mesma letra na vertical, não diferem significativamente pelo teste t ( $P<0,01$ ).

**Tabela 2-** Médias de biomassa radicular ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos tipos de solos, na área da Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

| Áreas                    | Mortas   | $\leq 1\text{mm}$ | $>1\leq 3\text{mm}$ | $>3\text{mm}$ | Total    |
|--------------------------|----------|-------------------|---------------------|---------------|----------|
| <b>Floresta Nativa</b>   |          |                   |                     |               |          |
| Argilosa                 | 503,99a  | 826,72a           | 1282,08a            | 3001,84a      | 5614,63a |
| Arenosa                  | 1021,80b | 1304,74b          | 1325,18a            | 2295,03a      | 5946,75a |
| <b>Floresta Plantada</b> |          |                   |                     |               |          |
| Argilosa                 | 196,18a  | 101,13a           | 218,29a             | 463,65a       | 979,25a  |
| Arenosa                  | 419,44b  | 369,15b           | 267,47a             | 617,83b       | 1673,89b |

Nota: Médias entre ecossistemas seguidas da mesma letra na vertical, não diferem significativamente pelo teste t ( $P<0,01$ ).

A Análise de Variância (ANOVA) dos dados mostrou que entre os blocos analisados, o teste de significância foi não significativo para todas as variáveis dependentes das áreas testadas. Apenas a variável dependente  $>1\leq 3$  mm de diâmetro (solo argiloso) mostrou-se significativa ao nível de 99 % de probabilidade. Os ecossistemas florestais (nativa e plantada) apresentaram diferenças altamente

significativas ao nível de probabilidade de 99 %, para todas as variáveis analisadas (mortas,  $\leq 1$ ,  $>1 \leq 3$ ,  $>3$  mm e total).

### 3.1. Biomassa Radicular Anual

A biomassa radicular anual na floresta nativa apresentou valores aproximados no solo arenoso ( $106,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) e argiloso ( $100,8 \text{ t ha}^{-1}$ ), como observa-se na figura 3. Comparando-se com dados dos levantamentos fitossociológicos das áreas, encontrou as áreas basais  $73,05$  e  $30,05 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  nos solos arenoso e argiloso, respectivamente, indicando que a área arenosa expressa biomassa da parte aérea e abaixo do solo superiores a área argilosa.

A floresta plantada teve biomassa radicular muito inferior a da floresta nativa, ou seja,  $29,7 \text{ t ha}^{-1}$  no solo arenoso e  $17,5 \text{ t ha}^{-1}$  no solo argiloso (Figura 3). As áreas basais são  $15,25$  e  $21,45 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  nas áreas arenosa e argilosa, respectivamente, indicando que a área de maior biomassa da parte aérea, correspondeu à menor biomassa de raízes.

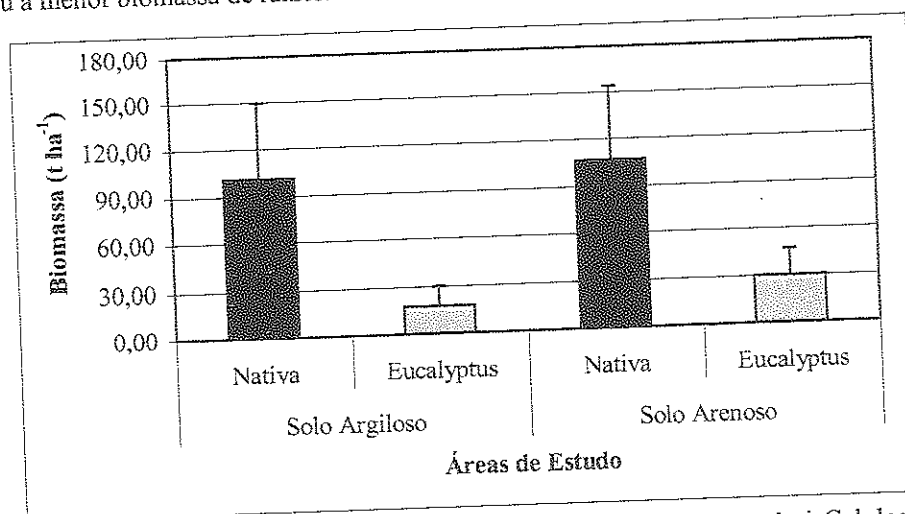


Figura 3- Biomassa radicular total ( $\text{t ha}^{-1}$ ) nas áreas de estudo da Empresa Jari Celulose S/A, Monte Dourado-Almeirim-PA.

### 3.2. Distribuição Vertical das Raízes

Embora a biomassa radicular anual seja consideravelmente maior na floresta nativa, esta diferença não é distribuída uniformemente no perfil do solo. A floresta nativa apresentou a maior parte da biomassa das raízes concentrada na profundidade superficial (0-15 cm), mostrando uma diminuição nas camadas mais profundas do perfil do solo (Figuras 4A e 4B). Houve uma redução da biomassa radicular de 91 %

do perfil superficial (0-15 cm) para o perfil profundo do solo (85-100 cm), na área de solo argiloso (76,6 t ha<sup>-1</sup> para 6,8 t ha<sup>-1</sup>), e redução de 87 % (70 t ha<sup>-1</sup> para 9 t ha<sup>-1</sup>) no perfil do solo arenoso.

A floresta plantada de *Eucalyptus* mostrou a mesma tendência, mas não tão distinta como na floresta nativa. A biomassa radicular no solo arenoso diminuiu 69 % no perfil de 0-15 cm para 85-100 cm de profundidade, ou seja, de 17 t ha<sup>-1</sup> para 5,2 t ha<sup>-1</sup>. Porém, o solo argiloso mostrou uma biomassa radicular com tendência definida a diminuir com a profundidade, mas a uma taxa relativamente maior que o solo arenoso, reduzindo 80 %, de 9,3 t ha<sup>-1</sup> para 1,8 t ha<sup>-1</sup>, nas camadas de 0-15 e 85-100 cm de profundidade, respectivamente (Figuras 4A e 4B).

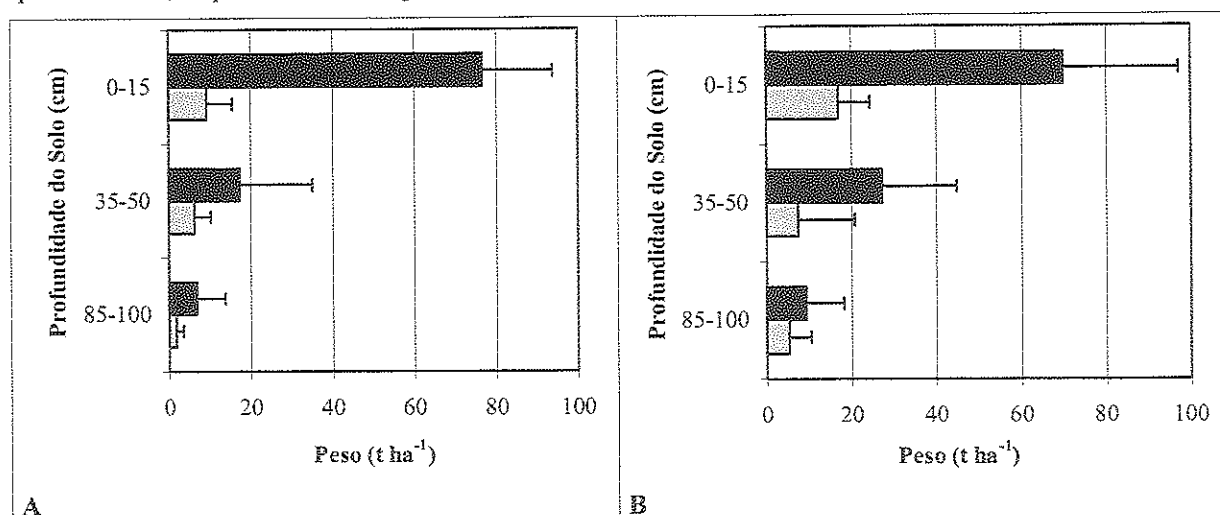


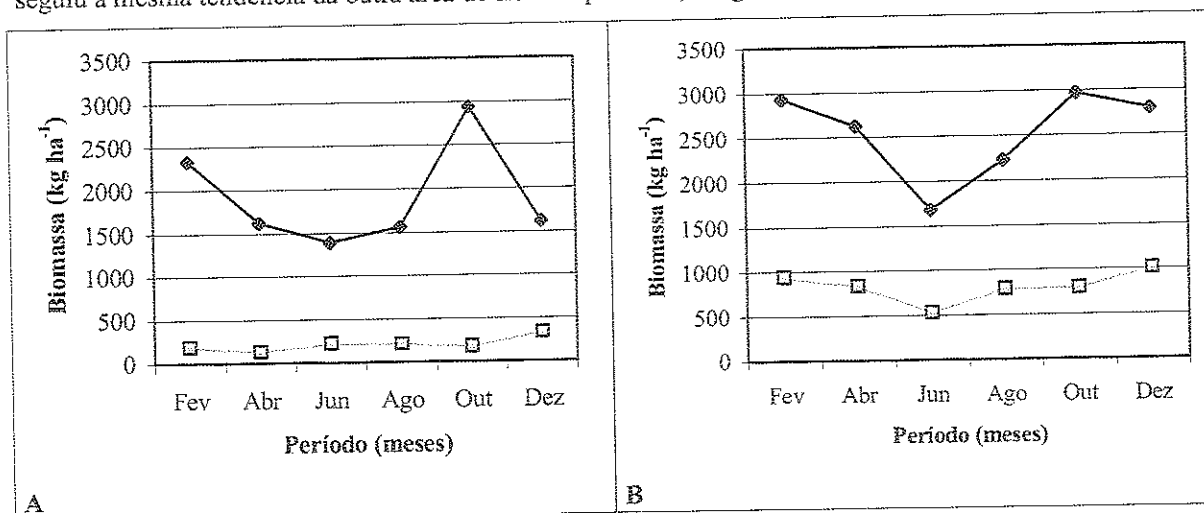
Figura 4 – Biomassa de raízes distribuídas em camadas do solo na Empresa Jari Celulose S/A Almeirim-PA. A) solo argiloso e B) solo arenoso. ■ Floresta Nativa; □ Floresta Plantada.

### 3.3. Influência Sazonal na Produção de Biomassa Radicular

A biomassa apresentou tendência de aumentar durante a estação seca, os maiores valores de biomassa na floresta nativa foram observados na área argilosa e arenosa, no mês de outubro, com 2.938,26 e 2.965,34 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figuras 5A e 5B). A floresta plantada seguiu o mesmo padrão, onde nas áreas de solos argiloso e arenoso produziu maior biomassa no mês de dezembro, 342,05 e 1.010,78 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, no entanto, é um mês em que a precipitação média é característica do período chuvoso.

O aumento na biomassa no período seco foi gradativamente evidente na área de solo arenoso a partir do mês de junho (Figura 5B), mas na área de solo argiloso permanece a mesma tendência, no entanto, ocorre um aumento brusco do mês de agosto para outubro (1.560,47 para 2.938,26 kg ha<sup>-1</sup>), figura 5A. A floresta plantada segue um padrão diferente na área de solo argiloso, onde há um decréscimo no

mês de junho, agosto e outubro (222,37; 216,19 e 180,64 kg ha<sup>-1</sup>), seguindo um aumento brusco no mês de dezembro (342,05 kg ha<sup>-1</sup>), como observa-se na figura 5A. No solo arenoso, o mesmo padrão encontrado na floresta nativa é visto na floresta plantada (Figura 5B), ocorrendo um aumento progressivo nos meses de junho, agosto e outubro (529,60; 787,88 e 793,54 kg ha<sup>-1</sup>) e conseqüentemente o mês de dezembro seguiu a mesma tendência da outra área de floresta plantada, chegando a 1010,78 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 5** – Variação sazonal da biomassa radicular  $\leq 1$  mm, na superfície do solo (0-15 cm de profundidade) na Empresa Jari Celulose S/A Almeirim-PA. A-solo argiloso e B-solo arenoso.

—◆— Floresta Nativa; —■— Floresta Plantada.

### 3.4. Biomassa Radicular em função da Classificação Diamétrica e Sazonalidade

A biomassa da floresta nativa foi superior a da floresta plantada, em todas as classes diamétricas de raízes avaliadas (Tabela 3). A única exceção encontrada foi para a área de solo arenoso, na classe diamétrica  $>3$  mm, no mês de agosto, onde a floresta nativa apresentou 1,15 t ha<sup>-1</sup> contra 1,37 t ha<sup>-1</sup> do plantio de *Eucalyptus*.

A biomassa radicular das diferentes classes diamétricas apresentou valores maiores na classe de maior diâmetro ( $>3$  mm), observado nos dois ecossistemas sobre solo argiloso, e quando diminuía o diâmetro, reduziu-se a biomassa das raízes (Tabela 3). As únicas exceções que ocorreram nessa área foram na floresta nativa, mês de outubro, onde a biomassa  $\leq 1$  mm supera a  $>1 \leq 3$  mm, sendo 1,11 t ha<sup>-1</sup> contra 1,09 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e também na floresta plantada, mês de dezembro, em que a classe diamétrica  $>1 \leq 3$  mm produz 0,20 t ha<sup>-1</sup>, contra 0,09 t ha<sup>-1</sup> na classe  $>3$  mm. As raízes mortas apresentaram sua massa inferior a biomassa das demais classes diamétricas da floresta nativa, mas no plantio as raízes mortas superaram a classe diamétrica  $\leq 1$  mm em todos os meses, exceto em outubro, produzindo 0,02 t ha<sup>-1</sup>.





contra 0,09 t ha<sup>-1</sup> das raízes ≤1 mm.

Na área de solo arenoso (Tabela 3), observou-se uma grande variação na quantidade da biomassa, onde na floresta nativa, nos meses de fevereiro, abril, outubro e dezembro, tiveram a biomassa da classe >1≤3 mm (0,89; 1,31; 1,38 e 1,34 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente) inferior à classe ≤1 mm (1,47; 1,34; 1,52 e 1,37 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente), e no mês de agosto a biomassa da classe >3 mm (1,22 t ha<sup>-1</sup>) foi inferior à classe >1≤3 mm (1,48 t ha<sup>-1</sup>). Na floresta plantada, desta mesma área, observaram-se tendências variáveis, onde a biomassa de maior diâmetro não foi totalmente superior as de menor diâmetro. Seguindo os padrões normais de produção de biomassa, apenas o mês de junho teve a biomassa na classe <1 mm (0,25 t ha<sup>-1</sup>) inferior a >1≤3 mm (0,26 t ha<sup>-1</sup>), e os meses de fevereiro, abril e agosto, a biomassa >3 mm (1,38; 0,39 e 1,55 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente) superou a >1≤3 mm (0,18; 0,31 e 0,26 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

As raízes mortas não apresentaram um padrão, já que na triagem do material não eram separadas por diâmetros. O solo arenoso, floresta nativa, no mês de fevereiro, apresentou o maior valor quantificado (1,63 t ha<sup>-1</sup>), enquanto que pode observar valores muito inferiores, como se pode observar no solo argiloso, floresta plantada, mês de outubro, com 0,02 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 3-** Variação bimestral de biomassa de raízes mortas e vivas (t ha<sup>-1</sup>) em diferentes classes diamétricas encontradas em floresta nativa e plantio de *Eucalyptus* e em dois tipos de solos na profundidade de até 1 m. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

| Meses                | Floresta Nativa |             |             |             | Plantação de <i>Eucalyptus</i> |             |             |             |
|----------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                      | Mortas          | ≤1mm        | >1≤3mm      | >3mm        | Mortas                         | ≤1mm        | >1≤3mm      | >3mm        |
| <b>Solo Argiloso</b> |                 |             |             |             |                                |             |             |             |
| Fevereiro            | 0,77 (0,23)     | 1,25 (0,24) | 1,51 (0,32) | 2,98 (0,93) | 0,16 (0,04)                    | 0,08 (0,02) | 0,22 (0,05) | 0,70 (0,47) |
| Abril                | 0,51 (0,22)     | 0,66 (0,15) | 1,49 (0,29) | 4,21 (1,42) | 0,17 (0,08)                    | 0,07 (0,01) | 0,18 (0,04) | 0,22 (0,11) |
| Junho                | 0,44 (0,14)     | 0,59 (0,15) | 0,94 (0,20) | 2,98 (1,53) | 0,11 (0,03)                    | 0,10 (0,02) | 0,27 (0,08) | 0,59 (0,23) |
| Agosto               | 0,52 (0,18)     | 0,62 (0,11) | 1,16 (0,23) | 2,21 (0,63) | 0,15 (0,05)                    | 0,10 (0,02) | 0,16 (0,04) | 0,43 (0,20) |
| Outubro              | 0,28 (0,08)     | 1,11 (0,30) | 1,09 (0,25) | 3,34 (1,10) | 0,02 (0,01)                    | 0,09 (0,01) | 0,26 (0,05) | 0,70 (0,48) |
| Dezembro             | 0,49 (0,13)     | 0,66 (0,14) | 1,40 (0,30) | 2,08 (0,69) | 0,54 (0,25)                    | 0,15 (0,03) | 0,20 (0,04) | 0,09 (0,07) |
| Total                | 3,00            | 4,90        | 7,60        | 17,79       | 1,16                           | 0,60        | 1,29        | 2,73        |
| <b>Solo Arenoso</b>  |                 |             |             |             |                                |             |             |             |
| Fevereiro            | 1,63 (0,54)     | 1,47 (0,20) | 0,89 (0,82) | 2,81 (1,08) | 1,00 (0,35)                    | 0,39 (0,09) | 0,18 (0,03) | 1,38 (0,69) |
| Abril                | 0,44 (0,11)     | 1,34 (0,20) | 1,31 (0,24) | 1,37 (0,48) | 0,25 (0,10)                    | 0,36 (0,06) | 0,31 (0,05) | 0,39 (0,20) |
| Junho                | 1,28 (0,49)     | 0,93 (0,11) | 1,44 (0,19) | 2,92 (1,17) | 0,11 (0,03)                    | 0,25 (0,04) | 0,26 (0,05) | 0,25 (0,13) |
| Agosto               | 0,50 (0,13)     | 1,09 (0,22) | 1,48 (0,25) | 1,22 (0,48) | 0,29 (0,06)                    | 0,38 (0,06) | 0,26 (0,05) | 1,55 (0,97) |
| Outubro              | 0,88 (0,28)     | 1,52 (0,22) | 1,38 (0,23) | 2,09 (0,65) | 0,21 (0,05)                    | 0,37 (0,06) | 0,24 (0,05) | 0,09 (0,06) |
| Dezembro             | 1,33 (0,58)     | 1,37 (0,19) | 1,34 (0,18) | 3,17 (1,17) | 0,62 (0,20)                    | 0,44 (0,07) | 0,33 (0,08) | 0,08 (0,04) |
| Total                | 6,06            | 7,72        | 7,84        | 13,58       | 2,48                           | 2,19        | 1,59        | 3,73        |

Nota: O Erro Padrão da Média está entre parênteses.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Biomassa Radicular Anual

O estoque de raízes na floresta nativa acumulado em um ano foi similar para os dois tipos de solos estudados (aproximadamente  $100 \text{ t ha}^{-1}$ ). Resultados similares também encontrados por Bongers *et al.* (1985) na Venezuela, onde a biomassa radicular foi  $128 \text{ t ha}^{-1}$ . Já Singh *et al.* (1994) encontraram  $146 \text{ t ha}^{-1}$  em florestas decíduas da Índia. O principal fator que promove o desenvolvimento de uma quantidade elevada de biomassa de raízes em floresta nativa é a diversidade de espécie nesse ecossistema, principalmente em regiões tropicais, além de sua alta densidade.

As biomassas radiculares nos plantios foram bem diferenciadas. O solo arenoso superou a área argilosa em  $12,2 \text{ t ha}^{-1}$ . Estudos de Bauhus *et al.* (2000) mostraram para o *Eucalyptus globulus*  $4,06 \text{ t ha}^{-1}$  e para plantios mistos de *Eucalyptus globulus* e *Acácia mearnsii*,  $5,19 \text{ t ha}^{-1}$ . Esses resultados são muito inferiores à plantação de *Eucalyptus* avaliado neste trabalho. A biomassa de raízes do plantio na área arenosa foi maior devido principalmente à plantação desta área ter 2,75 anos de idade superior à plantação desenvolvida na área argilosa.

Vanninen *et al.* (1996) também encontraram essa variação na idade, onde o *Pinus sylvestris* com maior idade apresentou uma maior biomassa radicular, e Lodhiyal & Lodhiyal (1997) avaliou a mesma tendência no plantio de *Populus deltoides*, que, além disso, nos plantios com idades entre 2 e 4 anos, foi similar a produção de raízes do *Eucalyptus* do solo argiloso avaliado neste trabalho.

Embora o desenvolvimento da biomassa da parte aérea não tenha sido maior na área arenosa, o desenvolvimento abaixo do solo demonstrou o esperado, diferente dos resultados de Thies & Cunningham (1996) que encontraram uma relação direta entre a biomassa acima e abaixo do solo e Whitney (1997) que identificou um declínio na biomassa radicular, provoca uma redução ou supressão da biomassa da parte aérea.

### 4.2. Distribuição Vertical das Raízes

A biomassa radicular das florestas nativas concentraram-se majoritariamente na superfície do solo, precisamente nos primeiros 15 cm. Baker III *et al.* (2001) também encontraram 74 % das raízes na camada superficial do solo (0-15 cm), diminuindo progressivamente nas camadas inferiores. Millikin & Bledsoe (1999) observaram que 70 % das raízes localizavam-se acima de 50 cm de profundidade e Pavlis & Jeník (2000) estudando árvores da floresta Amazônica, encontraram entre 80 e 90 % de todas as raízes <2 mm na superfície do solo.

Os plantios com *Eucalyptus* não se comportaram diferentemente da floresta nativa, concentrando suas raízes na superfície do solo. Este mesmo comportamento também foi evidente em plantações de *Eucalyptus* no Congo (Laclau *et al.*, 2001), sendo também notado por Ares & Peinemann (1992) para as espécies *Pinus halapensis*, *Pinus radiata* e *Cedrus deodora*.

Zutter *et al.* (1999) também concluíram que plantações de *Pinus taeda* declinaram a biomassa radicular com o incremento na profundidade do solo, no entanto, Schmid & Kazda (2001) não observaram essa tendência para *Fagus sylvatica*, onde as raízes apresentaram uma maior distribuição nas camadas de 10-20 e 20-30 cm de profundidade, provavelmente por este ecossistema ser implantado em região de floresta temperada, onde a estação fria não favorece o desenvolvimento de raízes na superfície do solo.

Fatores que favorecem a concentração das raízes na superfície do solo ou impedem o seu desenvolvimento em camadas mais profundas são a textura do solo, a arquitetura do sistema radicular das espécies e a quantidade de nutrientes presentes na solução do solo (Cremer, 1993; Burch *et al.*, 1997), induzindo o sistema radicular a um desenvolvimento horizontal (Lopes, 2001). Com base nos resultados do presente trabalho, observou-se que na área de solo arenoso houve uma melhor distribuição da biomassa radicular no perfil do solo, o que provavelmente seja justificado pela barreira física ser menor que a área com solo argiloso.

#### 4.3. Influência Sazonal na Produção de Biomassa Radicular

A biomassa de raízes foi muito intensa no período seco para o ecossistema de floresta nativa nas duas áreas avaliadas e na plantação de *Eucalyptus* o maior valor foi no período chuvoso. Roy & Singh (1995) encontraram, na estação chuvosa, um aumento na produção e crescimento das raízes, sugerindo, posteriormente, que há mortalidade da biomassa no início da estação seca. Variação na massa radicular, principalmente nas raízes finas, seguindo um padrão de maior produtividade primária durante a estação chuvosa, tem sido encontrado (Luizão *et al.*, 1992; Sundarapandian & Swamy, 1996).

Um aumento progressivo da biomassa radicular na floresta nativa aconteceu no período seco, tendo seu maior pico no mês de outubro, que é um período que ocorre a menor precipitação na área estudada, provavelmente este fato ocorre como forma de adaptação da planta ao aumento da massa radicular para a captação de água e nutrientes, escassos nesse período. Resultados similares, mostrando uma relação entre o incremento da biomassa acima do solo e a dormência no desenvolvimento das raízes, e vice-versa, foram encontrados por McNaughton *et al.* (1998).

#### 4.4. Biomassa Radicular em função da Classificação Diamétrica e Sazonalidade

No presente estudo, as raízes seguiram tendência de concentrar maior biomassa na classe diamétrica mais grossa, fato este observado também por Leuschner *et al.* (2001); Vanninen *et al.* (1996); Tabuchi (1995). As raízes grossas contribuem com uma grande biomassa, o que é evidente neste trabalho, havendo algumas exceções no plantio de *Eucalyptus*, observados também por Behera *et al.* (1990) e Lodhiyal & Lodhiyal (1997).

Sundarapandian & Swamy (1996) fizeram uma classificação igual a apresentada neste trabalho. No entanto, alguns resultados diferiram, por exemplo a classe diamétrica  $>1\leq 3$  mm teve a biomassa inferior a  $\leq 1$  mm, para todas as situações avaliadas, assim como Maycock & Congdon (2000) encontraram uma relação similar ao estudo citado. No presente estudo, apenas a área de solo arenoso apresentou comportamento similar para a maioria dos períodos avaliados, o que poderia ser justificado pela ação do fator sazonal sobre o desenvolvimento radicular, favorecendo a multiplicação da biomassa das raízes de menor diâmetro, além do que, os ecossistemas podem apresentar particularidades que os diferem, como tipo de solo, clima, posição geográfica e composição florística.

#### 5. CONCLUSÕES

- a) A biomassa radicular anual das florestas nativas foi praticamente equivalente em solo arenoso ( $106,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) e argiloso ( $100,8 \text{ t ha}^{-1}$ ). Os plantios de *Eucalyptus* se mostraram bem distintos:  $29,7 \text{ t ha}^{-1}$  no solo arenoso e  $17,5 \text{ t ha}^{-1}$  no solo argiloso;
- b) No perfil do solo, a biomassa radicular concentrou-se majoritariamente na superfície, tanto para a floresta nativa como para o plantio com o *Eucalyptus*;
- c) Houve aumento gradativo da biomassa radicular na estação seca na floresta nativa nos solos argiloso e arenoso e na floresta plantada do solo arenoso, no entanto, foi na estação chuvosa que a biomassa apresentou maior valor de produção nos plantios de *Eucalyptus*;
- d) A distribuição da biomassa em diferentes classes diamétricas mostrou tendência de concentrar maior biomassa na classe com maior diâmetro ( $>3 \text{ mm}$ ), sendo que as raízes mortas não apresentaram esta mesma relação nos plantios com *Eucalyptus*;

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARES, A.; PEINEMANN, N. Fine-root distribution of coniferous plantations in relation to site in southern Buenos Aires, Argentina. Canadian Journal of Forest Research, v.22, p.1575-1582, 1992.

BAKER III, T.T. et al. Fine root productivity and dynamics on a forested floodplain in South Carolina. Soil Science Society of America Journal, v.65, p.545-556, 2001.

BAUHUS, J.; KHANNA, P.K.; MENDEN, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. Canadian Journal of Forest Research, v.30, p.1886-1894, 2000.

BEHERA, N.; JOSHI, S.K.; PATI, D.P. Root contribution to total soil metabolism in a tropical forest soil from Orissa, India. Forest Ecology and Management, v.36, p.125-134, 1990.

BONGERS, F.; ENGELEN, D.; KLINGE, H. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in southern Venezuela: the Bana woodland. Vegetatio, v.63, p.13-34, 1985.

BURCH, W.H. et al. Root system development of single and mixed plant functional type communities following harvest in a pine-hardwood forest. Canadian Journal of Forest Research, v.27, p.1753-1764, 1997.

CANADELL, J.; RODÀ, F. Root biomass of *Quercus ilex* in a montane Mediterranean forest. Canadian Journal of Forest Research, v.21, p.1771-1778, 1991.

CASTELLANOS, J. et al. Slash-and burn effects on fine root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in Mexico. Forest Ecology and Management, v.148, p.41-50, 2001.

CORRÊA, J.J.L.; JACOMINE, P.K.T.; SANTOS, R.D. Solos do Jari. Rio de Janeiro: Companhia Florestal Monte Dourado, 1989. 128p.

CREMER, K.W. Taper and heartwood in roots and tree stability. Australian Forestry, v.56, n.1, p.38-44, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Critérios para descrição de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67p.

- JORDAN, C.F.; ESCALANTE, G. Root productivity in an Amazonian rain forest. Ecology, v.61, n.1, p.14-18, 1980.
- KELLMAN, M. Root proliferation in recent and weathered sandy soils from Veracruz, Mexico. Journal of Tropical Ecology, v.6, p.355-370, 1990.
- LACLAU, J.-P. et al. Spatial distribution of *Eucalyptus* roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. Tree Physiology, v.21, p.129-136, 2001.
- LEUSCHNER, C. et al. Root competition between beech and oak: a hypothesis. Oecologia, v.126, p.276-284, 2001.
- LODHIYAL, L.S.; LODHIYAL, N. Variation in biomass and net primary productivity in short rotation high density control Himalayan poplar plantations. Forest Ecology and Management, v.98, p.167-179, 1997.
- LOPES, L.F.C. Extensão de raízes laterais de espécies arbóreas de uma área de floresta tropical da Amazônia. Santarém: Faculdades Integradas do Tapajós, 2001. 43p. (Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas).
- LUIZÃO, F.; LUIZÃO, R.; CHAUVER, A. Premiers résultats sur la dynamique des biomasses racinaires et microbiennes dans um latosol d'Amazonie centrale (Brésil) sous forêt et sous pâturage. Cahiers O.R.S.T.O.M. Série Pédologie, v.27, n.1, p.69-79, 1992.
- MARTINS, L.G.C. et al. Variação da biomassa radicular de brotações de eucalipto após o corte das árvores. Revista Árvore, Viçosa (MG), v.21, n.2, p.175-186, 1997.
- MAYCOCK, C.R.; CONGDON, R.A. Fine root biomass and soil N and P in North Queensland rain forests. Biotropica, v.32, n.1, p.185-190, 2000.
- McNAUGHTON, S.J.; BANYIKWA, F.F.; McNAUGHTON, M.M. Root biomass and productivity in a grazing ecosystem: the Serengeti. Ecology, v.79, n.2, p.587-592, 1998.

- MILLIKIN, C.S.; BLEDSOE, C.S. Biomass and distribution of fine and coarse root from blue oak (*Quercus douglasii*) trees in the northern Sierra Nevada foothills of California. Plant and Soil, v.214: 27-38, 1999.
- PAVLIS, J.; JENÍK, J. Roots of pioneer trees in the Amazonian rain forest. Trees, v.14, p.442-455, 2000.
- ROLLET, B. Jari: succès ou échec: un exemple de développement agro-sylvo-pastoral et industriel em Amazonie brésilienne. Revue Bois et Forêts des Tropiques, v.192, juillet-août, p.3-34, 1980.
- ROY, S.; SINGH, J.S. Seasonal and spatial dynamics of plant-available N and P pools and N-mineralization in relation to fine roots in a dry tropical forest habitat. Soil Biology and Biochemistry, v.27, n.1, p.33-40, 1995.
- SANFORD Jr., R.L.; CUEVAS, E. Root growth and rhizosphere interactions in tropical forests. In: MULKEY, S.S.; CHAZDON, R.L.; SMITH, A.P. (Eds.). Tropical forest plant ecophysiology. New York: Chapman & Hall, 1996. p.268-300.
- SAS Institute. SAS/STAT user's guide. Cary, 1988. 1028p.
- SCHILLING, E.B.; LOCKABY, B.G.; RUMMER, R. Belowground nutrient dynamics following three harvest intensities on the Pearl River Floodplain, Mississippi. Soil Science Society of America Journal, v.63, p.1856-1868, 1999.
- SCHMID, I.; KAZDA, M. Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*. Canadian Journal of Forest Research, v.31, p.539-548, 2001.
- SILVA, I.C.B. et al. Fitossociologia de um trecho de floresta em Monte Dourado, Almeirim-Pará. In: LBA CIENTIFIC CONFERENCE, 1., Book Abstract... Belém, 2000. p. 72.
- SINGH, S.P.; ADHIKARI, B.S.; ZOBEL, D.B. Biomass, productivity, leaf longevity, and forest structure in the central Himalaya. Ecological Monographs, v.64, p.401-421, 1994.

- SUNDARAPANDIAN, S.M.; SWAMY, P.S. Fine root biomass distribution and productivity patterns under open and closed canopies of tropical forest ecosystems at Kodagar in Western Ghats, South India. Forest Ecology and Management, v.86, p.181-192, 1996.
- TABUCHI, R. Fine-root amount of young mangrove stands in Trang Province, Thailand. In: BOX, E.O. et al. (Eds.). Vegetation science in forestry: global perspective based on forest ecosystems of East and Southeast Asia. Dordrecht: Kluwer, 1995. p.573-583.
- THIES, W.G.; CUNNINGHAM, P.G. Estimating large-root biomass from stump and breast-height diameters for Douglas-fir in western Oregon. Canadian Journal of Forest Research, v.26, p.237-243, 1996.
- VANNINEN, P. et al. Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Trees, v.10, p.231-238, 1996.
- WILSON, J.B. Shoot competition and root competition. The Journal of Applied Ecology, v.25, p.279-296, 1988.
- WHITNEY, R.D. Relationship between decayed roots and aboveground decay in three conifers in Ontario. Canadian Journal of Forest Research, v.27, p.1217-1221, 1997.
- ZUTTER, B.R. et al. Root length and biomass in mixtures of broomsedge with loblolly pine or sweetgum. Canadian Journal of Forest Research, v.29, p.926-933, 1999.

## CAPÍTULO II – DINÂMICA E CONTEÚDO DE NUTRIENTES EM RAÍZES FINAS DE FLORESTA NATURAL E PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus* NA AMAZÔNIA ORIENTAL

**Resumo.** Os nutrientes acumulados nas raízes contribuem para a sustentabilidade da floresta. O presente estudo objetiva quantificar e avaliar a dinâmica dos nutrientes em floresta plantada de *Eucalyptus* comparados com floresta nativa sem alteração. Este estudo foi conduzido na área da Empresa Jari Celulose S/A, localizada no município de Almerim (Monte Dourado), Pará, em Latossolos arenoso e argiloso. Retirou-se amostras de raízes nas profundidades de 0-15, 35-50 e 85-100 cm para a triagem ( $\leq 1$ ,  $>1 \leq 3$  e  $>3$  mm) e preparação das amostras necessárias às análises químicas. Determinou-se as concentrações dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A concentração dos nutrientes foi inversamente proporcional ao diâmetro das raízes, sendo que na floresta nativa, as concentrações de nutrientes de acordo com as classes diamétricas  $\leq 1$  e  $>3$  mm foram respectivamente: 14,30 e 8,70 (N); 1,17 e 0,70 (P); 1,69 e 1,04 (K); 2,34 e 1,87 (Ca); 0,99 e 0,68 (Mg) g kg<sup>-1</sup> em solo argiloso e para solo arenoso 17,26 e 8,51 (N); 1,22 e 0,81 (P); 1,68 e 1,10 (K); 2,34 e 1,77 (Ca); 1,01 e 0,71 (Mg) g kg<sup>-1</sup>. Enquanto que na floresta plantada há uma redução na concentração 9,84 e 6,53 (N); 0,95 e 0,59 (P); 1,27 e 0,97 (K); 2,23 e 1,88 (Ca); 0,88 e 0,57 (Mg) g kg<sup>-1</sup> em solo argiloso e para solo arenoso 13,11 e 5,62 (N); 1,10 e 0,75 (P); 1,43 e 0,83 (K); 2,30 e 1,43 (Ca); 0,90 e 0,55 (Mg) g kg<sup>-1</sup>. Os nutrientes apresentaram-se distribuídos decrescentemente desta forma N>Ca>K>P>Mg, para todos os ambientes avaliados, havendo maior quantidade destes na superfície do solo, possibilitando a floresta nativa ser superior ao plantio em todas as camadas avaliadas. Os nutrientes P, K e Mg apresentaram maiores valores no período seco e o N e o Ca, no período chuvoso. Possivelmente, os nutrientes contidos nas raízes contribuem de maneira fundamental para o processo de ciclagem e a sustentabilidade do ecossistema.

**Palavras-chaves:** Floresta nativa, *Eucalyptus*, sistema radicular, concentração de nutrientes, conteúdo de nutrientes.

## FINE ROOT DYNAMIC AND NUTRIENTS CONTENT IN NATURAL FOREST AND *Eucalyptus* PLANTATIONS IN EASTERN AMAZON.

**Abstract.** The nutrients accumulated in the roots contribute to the sustainability of the forest. The objective of this study is to quantify and to compare nutrients dynamics in planted *Eucalyptus* forest and native forest. The present study is located in Jari Celulose S/A Company, in the city of Almeirim (Monte Dourado), Pará State, in sites of sandy and clay soil. Sample were collected at depths of 0-15, 35-50 and 85-100 cm for the selection the roots ( $\leq 1$ ,  $1 < d \leq 3$  and  $> 3$  mm) and necessary sample preparation for chemical analyses. We determined concentrations of the macronutrients nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg). The concentration of the nutrients was inversely proportional to root diamete. In the native forest, the concentration of nutrients in diameters classes  $\leq 1$  and  $> 3$  mm were: 14.30 and 8.70 (N); 1.17 and 0.70 (P); 1.69 and 1.04 (K); 2.34 and 1.87 (Ca); 0.99 and 0.68 (Mg) g kg<sup>-1</sup> respectively in clay soil, and for sandy soil 17.26 and 8.51 (N); 1.22 and 0.81 (P); 1.68 and 1.10 (K); 2.34 and 1.77 (Ca); 1.01 and 0.71 (Mg) g kg<sup>-1</sup> respectively. In the planted forest, there was reduced concentration: 9.84 and 6.53 (N); 0.95 and 0.59 (P); 1.27 and 0.97 (K); 2.23 and 1.88 (Ca); 0.88 and 0.57 (Mg) g kg<sup>-1</sup> in clay soil respectively, and for sandy soil 13.11 and 5.62 (N); 1.10 and 0.75 (P); 1.43 and 0.83 (K); 2.30 and 1.43 (Ca); 0.90 and 0.55 (Mg) g kg<sup>-1</sup> respectively. The nutrients decreased in concentration in the following manner: N>Ca>K>P>Mg in all evaluated environments, with the highest concentrations found in the surface layers of the soil. The native forest exhibited greather concentrations than the plantation in all evaluated layers. The nutrients P, K and Mg had greater values in the dry period and N and Ca, during the rainy period. Root nutrients are fundamental to bigeochemical cycles and the sustainability of ecosystems.

**Key-words:** Native Forest, *Eucalyptus*, root system, nutrients concentration, nutrient content.

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira é a maior bacia hidrográfica do mundo com 5.000.000 km<sup>2</sup>. Floresta equatorial, clima quente e úmido, além da ocorrência de longos e intensos períodos de chuva, características peculiares que diferem esta região de outras partes do mundo.

Na Amazônia, existem duas estações climáticas distintas, uma caracterizada por elevados índices pluviométricos (inverno) e a outra caracterizada pelo longo período de estiagem (verão). No Pará, cerca de 90 % do estado está submetido a totais pluviométricos médios anuais, que variam de 1500 mm a 2500 mm, e deficiência hídrica que varia de 100 mm a 300 mm, abrangendo aproximadamente 73 % da área do estado (SUDAM/EMBRAPA, 1993). Estes fatores climáticos vêm sendo modificados pela mudança na cobertura vegetal primária, que diretamente afeta a temperatura, evapotranspiração e a transpiração, ocasionando consequências danosas ao ecossistema (Nobre, 1989; Alves *et al.*, 1999). Especificamente tais danos referem-se a radiação solar, aumento da temperatura, redução da umidade do ar, aumento da velocidade do vento, redução na evaporação e precipitação e um período de seca mais prolongado (Fisch *et al.*, 1998).

As plantas individualmente podem afetar os processos que ocorrem no ecossistema, tal como a ciclagem de nutrientes (Hooper & Vitousek, 1998). As florestas plantadas constituem-se em uma forma apropriada de uso do solo não menos impactantes do que qualquer outra cultura intensiva (Poggiani, 1998); podendo ser mais produtivas do que a floresta natural (Jordan & Farnworth, 1982). No Brasil, as tendências dos plantios são em ocupar solos inférteis onde as árvores têm um bom crescimento, mas podendo o manejo intensivo comprometer o sistema (Poggiani, 1985).

O *Eucalyptus* é um gênero que apresentou um importante papel no desenvolvimento do cenário atual e plantações florestais no Brasil. Existem muitas espécies capazes de crescer em uma grande variedade de sítios, podendo ser bem sucedidas em zonas tropicais úmidas, com a rotação entre 5 e 12 anos. Em sítios adequados apresentam rendimento de 40 a 50 m<sup>3</sup>/ha/ano (Evans, 1984). No entanto, para alcançar este estágio de desenvolvimento, é necessário que haja uma manutenção do estoque de nutrientes minerais do solo, bem como da produtividade de biomassa da floresta (Schumacher, 1998), principalmente quando houver a remoção da biomassa viva na preparação do sítio ou na colheita (Montagnini & Sancho, 1994).

Os nutrientes removidos em curtas rotações de *Eucalyptus* requerem a reposição com fertilizantes na próxima rotação (Wise & Pitman, 1981). Este impacto sobre o manejo, geralmente não leva em consideração a biomassa das raízes juntamente com seus nutrientes, remanescente no ecossistema (Schilling *et al.*, 1999). O que certamente reduziria o valor negativo no balanço e entrada e saída de

nutrientes de um plantio (Mailly *et al.*, 1997) e que geralmente observa-se em povoamentos conduzidos por brotação (Barros *et al.*, 1997).

Os nutrientes são requeridos para o crescimento e reprodução das plantas, somente carbono, hidrogênio e oxigênio são captados pela parte aérea da planta, o restante é retirado do solo pelas raízes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre - macronutrientes) e requerido em quantidade relativamente grande. O fato das raízes poderem encontrar e absorver estes nutrientes, muitas vezes acumulando-os em altas concentrações nos seus tecidos, mostra a eficiência da raiz como um órgão de absorção (Bowling, 1976). A absorção de íons pelas raízes é um processo complexo no qual todos os detalhes não são totalmente entendidos. Diferença entre a concentração do íon na raiz e a solução externa do solo, indica que a entrada de íons é seletiva, sendo geralmente grande em raízes jovens (Kellman & Tackaberry, 1997).

As taxas de entrada dos nutrientes minerais em comunidades naturais de plantas e de retorno dos nutrientes para a serapilheira são elevadas nos trópicos, intermediária nas zonas temperadas e menor nas regiões de tundra. Este padrão pode ser um resultado do padrão mundial de produção de serapilheira, ou seja, taxas de produção elevadas nos trópicos que decresce longitudinalmente em direção aos pólos (Jordan & Kline, 1972).

A competição abaixo do solo pode reduzir o crescimento da planta mais do que a competição acima do solo (Wilson 1988), afetando a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (Nambiar & Sands, 1993). Em ecossistemas mistos a tendência é o favorecimento das raízes da espécie que melhor se adapta àquele ambiente (Casper & Jackson, 1997; Leuschner *et al.*, 2001). Plantas adaptadas a solos de menor fertilidade são muitas vezes obrigadas a crescer lentamente, aumentando suas chances de sobrevivência (Chapin, 1980), e ainda, a biomassa de raízes tende a ser maior, ocupando totalmente o volume do solo onde os nutrientes estão dispostos e a probabilidade de captura dos mesmos torna-se maior.

As raízes finas desempenham uma função crucial nos fluxos de energia e matéria orgânica na biosfera e a produção de raízes e a mortalidade são importantes componentes do balanço global de carbono. Embora a produção e a mortalidade das folhas não sejam geralmente um processo sincrônico, a produção e a mortalidade das raízes ocorrem simultaneamente (Majdi, 2001). São as estruturas primeiramente responsáveis pela aquisição de água e nutrientes (Farrish, 1991) e sob condições de menor umidade, as plantas podem alocar mais recursos para a construção de raízes finas (Marschner, 1995). Acidez e deficiências ou instabilidade de nutrientes são condições químicas do solo que mais provavelmente restringem o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas em regiões úmidas. Solos ácidos inibem as raízes por causa da toxidez do alumínio (Al), a solubilidade do qual aumenta com o acréscimo da acidez do solo (Fisher & Binkley, 2000).

Há uma hipótese em que, no geral, há uma relação inversa entre a concentração de nutrientes e o diâmetro das raízes (Gordon & Jackson, 2000), confirmada por diversos estudos em ecossistemas naturais, impactados, florestas secundárias e plantações. Para o nitrogênio (N), as raízes concentraram 11,1 e 6,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para raízes finas (<2 mm de diâmetro) e grossas (2-5 mm de diâmetro), o fósforo (P) concentrou 0,92 e 0,56 g kg<sup>-1</sup>, o potássio (K) com 2,8 e 2,6 g kg<sup>-1</sup>, o cálcio (Ca) 5,0 e 4,2 g kg<sup>-1</sup> e o magnésio (Mg) 1,6 e 0,6 g kg<sup>-1</sup> para as raízes finas e grossas, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Sollins *et al.* (1980), em que o padrão de concentração de nutrientes se mantém, onde as médias de concentrações de nutrientes nas raízes finas (≤5 mm de diâmetro) foram distribuídos 0,62; 0,02; 0,17; 0,69; 0,12 e 0,10 %, respectivamente para N, Na, K, Ca, Mg e P. As raízes grossas (>5 mm de diâmetro) tiveram uma concentração inferior, com 0,090 (N), 0,003 (P), 0,030 (K), 0,148 (Ca), 0,031 (Mg) e 0,008 % (S).

As concentrações de nutrientes nas raízes ainda variam de espécie para espécie, como observou Fahey *et al.* (1988), onde a concentração de macro-nutrientes na espécie *Acer saccharum* foi a que mais se destacou nas raízes que variaram de 1-10 mm de diâmetro, com 0,98; 0,26; 0,070; 0,14 e 0,052 %, respectivamente para N, K, P, Ca e Mg e 51,1 % para o C. Para o diâmetro de raízes >10 mm, a espécie que se sobressaiu foi a *Fagus grandifolia*, com 0,27 (N), 0,13 (K), 0,036 (P), 0,12 (Ca) e 0,032 (Mg) e o C igual a 51,8 %. Embora algumas espécies pertençam ao mesmo gênero, padrões distintos de concentrações de nutrientes ainda podem ser encontrados, como observou-se em 3 espécies do gênero *Eucalyptus*, ficando assim distribuídas: *Eucalyptus camaldulensis* concentrou 2,18; 0,10; 1,38 e 0,16 % de N, P, K e S, respectivamente. *Eucalyptus citriodora* teve 1,44; 0,14; 2,20 e 0,20 %, respectivamente de N, P, K e S concentrados nas raízes. 1,43 (N), 0,09 (P), 1,06 (K) e 0,18 % (S), foi o quanto concentrou *Eucalyptus pellita* em suas raízes (Oliveira *et al.*, 1994).

Na área da Empresa Jarí Celulose S/A estudou-se o estoque de nutrientes em plantios de *Eucalyptus* e o quanto era exportado no momento do corte de árvores para a produção de celulose (Spangenberg *et al.*, 1996), mas estudos de nutrientes nas raízes dos plantios e áreas de floresta nativa ainda não foram realizados.

Assim, este trabalho vem ampliar os conhecimentos necessários a compreensão dos processos que ocorrem em ecossistemas de florestas plantadas com *Eucalyptus* e florestas nativas na Amazônia, principalmente a ciclagem de nutrientes, e como as raízes colaboram para este processo.

O presente estudo objetiva quantificar e avaliar a dinâmica dos nutrientes Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), na biomassa radicular dos ecossistemas de floresta nativa e floresta plantada com o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da Área

O presente estudo foi conduzido em área da Empresa Jari Celulose S/A, por ser um local que ofereceu uma situação em que puderam ser comparados sistemas naturais com artificiais. As áreas plantadas são submetidas ao manejo intensivo e estão próximas da floresta primária, que não foi submetida à intervenção humana e encontra-se na forma de reserva legal da Empresa.

A área da Jari Celulose localiza-se no Município de Almeirim (Distrito Monte Dourado- 450km à Oeste de Belém), Estado do Pará, às margens do rio Jari, estendendo suas áreas ao Estado do Amapá (Figura 1), entre os paralelos 0° 30' e 1° 30' S e os meridianos 52° 40' e 53° 40' W (Rollet, 1980).

Neste estudo, foram selecionadas duas áreas com as seguintes particularidades: ecossistemas de floresta plantada com o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis) e floresta nativa característica da região amazônica, dispostas paralelamente e separadas por uma estrada vicinal de 4,0 m de largura. As áreas de estudo são denominadas, pela Empresa, de Morro do Felipe, localizada nas coordenadas geográficas 52° 23' W e 0° 52' S e 150 m de altitude. A segunda área, conhecida como São Militão, está entre as coordenadas 52° 40' W e 0° 46' S, a 105 m de altitude.

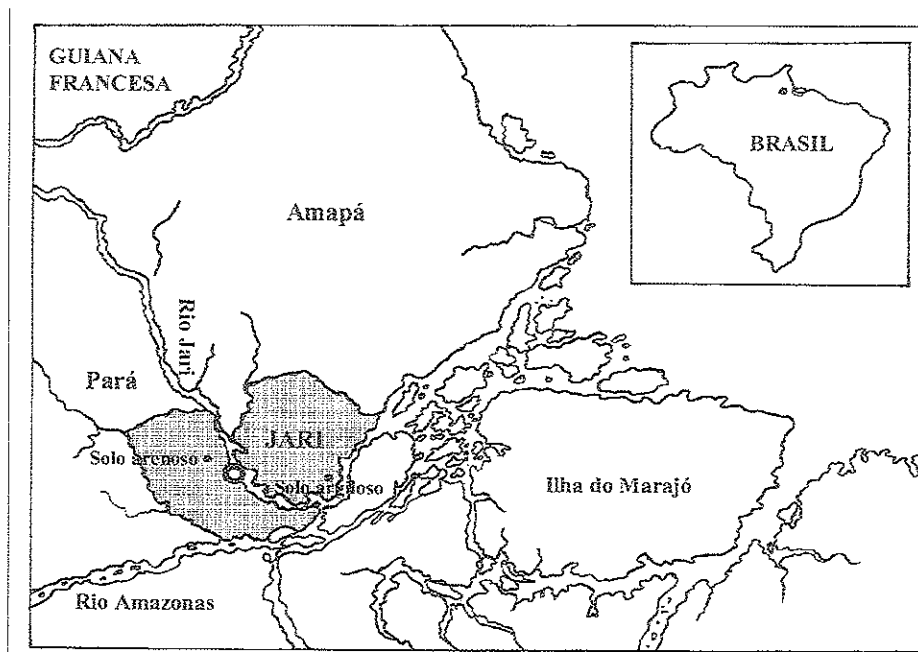


Figura 1- Mapa de localização da área do Projeto Jari, atualmente da Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA, onde foram instalados os estudos do presente trabalho.

Segundo a classificação de Köppen, o clima pertence ao tipo Am, possuindo características intermediárias entre Af e Aw, cujo regime pluviométrico define uma curta estação seca. A precipitação anual é de 2.115 mm, variando de 290 mm no mês de maio a 41 mm no mês de outubro, com uma distinta estação seca entre os meses de setembro e novembro. A temperatura média anual é de 26,4° C (Corrêa *et al.*, 1989).

As áreas de estudo são compostas de Latossolo Amarelo Álico, textura muito argilosa (Morro do Felipe) e Latossolo Amarelo Álico, textura arenosa/média (São Militão).

Nas análises de solos das áreas do experimento (Tabela 1), o P disponível, e o K, o Ca e o Mg trocáveis apresentaram valores baixos para todas as áreas. A acidez foi considerada média, para a área argilosa, e alta para a área arenosa. A matéria orgânica (MO), em média, foi alta; o Al trocável teve valores médios, para todos os ambientes de estudo, e a saturação de bases foi alta.

**Tabela 1-** Análise de solo da área experimental, na profundidade de 0-20cm, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

| Área            | Textura  | Vegetação | pH<br>H <sub>2</sub> O | C<br>org | MO    | P<br>disp. | K<br>troc. | Ca<br>troc. | Mg<br>troc. | Al<br>troc. | H + Al<br>troc. | CTC  | %m    |
|-----------------|----------|-----------|------------------------|----------|-------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|------|-------|
| Morro do Felipe | Argilosa | Nativa    | 5,03                   | 28,96    | 49,82 | 1,18       | 0,06       | 0,09        | 0,34        | 1,47        | 9,49            | 9,97 | 75,16 |
|                 |          | Plantada  | 5,13                   | 17,94    | 30,88 | 1,58       | 0,04       | 0,45        | 0,39        | 0,84        | 4,91            | 5,79 | 49,05 |
| São Militão     | Arenosa  | Nativa    | 4,70                   | 15,06    | 22,45 | 3,90       | 0,02       | 0,26        | 0,19        | 1,11        | 6,51            | 6,98 | 70,21 |
|                 |          | Plantada  | 4,53                   | 17,44    | 30,01 | 4,30       | 0,02       | 0,09        | 0,25        | 1,14        | 4,91            | 5,27 | 76,21 |

Legenda: pH = Método potenciométrico relação 1:2,5; Corg, g kg<sup>-1</sup> TFSA - Método de Walkley-Black; MO, em g kg<sup>-1</sup> TFSA + Corg x 1,724; P disponível, mg dm<sup>-3</sup> TFSA - Extrator Mehlich 1; K trocável, em cmole dm<sup>-3</sup> - extrator Mehlich 1; Ca e Mg trocáveis, em cmole dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1M; Al trocável, em cmole dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1M; Ca e Mg trocáveis, em cmole dm<sup>-3</sup> - extrator KCl 1M.

A vegetação natural é a floresta tropical úmida, classificada como equatorial subperenifolia (EMBRAPA 1988).

Levantamento fitossociológico da floresta nativa das duas áreas (Silva *et al.*, 2000), encontrou para a área argilosa as famílias de maiores riquezas Sapotaceae, Mimosaceae e Caesalpiniaceae, com 22,64 % e o IVI (Índice de Valor de Importância) foi maior para as famílias Sapotaceae e Lecythidaceae. As espécies mais importantes com maior dominância relativa foram *Licania heteromorpha*, *Pouteria caimito*, *Eschweilera ovata* e *Lecythis idatimon*. Na área arenosa, as famílias Mimosaceae, Sapotaceae, Fabaceae e Lauraceae apresentaram maior riqueza com 37,85 % e as famílias Fabaceae, Mimosaceae e Chrysobalanaceae com maiores IVI, *Hymenolobium petraeum* e *Aspidosperma rigidum* apresentaram maior dominância relativa. A área basal foi de 30,05 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, para área argilosa, e 73,05 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, para área arenosa.

No início da implantação do Projeto Jarí, a cobertura vegetal nativa foi removida para a

implantação de espécies exóticas (*Gmelina arborea*, *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp.). A espécie que melhor se adaptou ao clima e aos solos da região foi o *Eucalyptus* sp. Atualmente, a Empresa Jari Celulose vem cultivando o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis), com excelentes resultados em adaptação e produtividade.

O plantio da área argilosa (Morro do Felipe) foi implantado em dezembro de 1996, no espaçamento 3,0 x 3,0 m (1.111 árvores ha<sup>-1</sup>), com sobrevivência de 97 % das árvores. Com a mensuração realizada em outubro de 2001, obtiveram-se médias de diâmetro de 15,3 cm, altura 23,5 m, volume/ha 252,24 m<sup>3</sup>, área basal de 21,45 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e IMA (Incremento Médio Anual) foi 51,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

O plantio na área arenosa foi realizado em abril de 1994, no espaçamento de 3,0 x 3,0 m (1.111 árvores ha<sup>-1</sup>) e 71 % de sobrevivência. A última mensuração da área (outubro de 2001) obteve médias de 15,7 cm de diâmetro, 19,9 m de altura, volume de 170 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, área basal 15,25 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e 22,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de IMA.

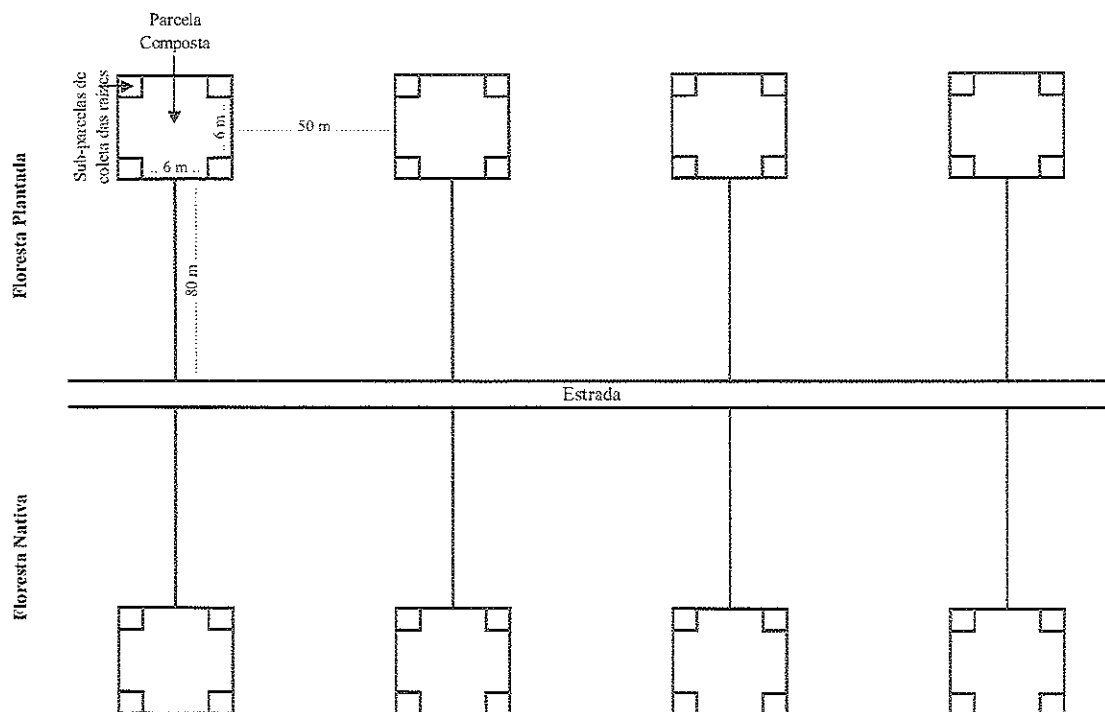
## 2.2. Metodologia

As coletas foram realizadas no decorrer de um ano, sendo seis coletas bimestrais, iniciando-se em agosto de 1999 e encerrando-se em junho de 2000, atingindo um período seco e um período chuvoso, para avaliar o efeito da sazonalidade sobre a produção de biomassa e nutrientes das raízes.

Demarcou-se a área de coleta, mantendo a distância de 50 m entre as parcelas e penetrando 80 m no interior das florestas plantadas e nativas, para evitar o efeito de borda (Figura 2). Instalaram-se parcelas de 6 m x 6 m, identificando-se as extremidades com códigos, facilitando-se, assim, os processos de coleta e identificação do material.

O experimento ficou distribuído em quatro parcelas compostas, em cada ecossistema, nas áreas do Morro do Felipe e São Militão. Cada parcela ficou constituída de quatro sub-parcelas, onde nestas realizaram-se as coletas da biomassa radicular. As amostras foram retiradas nas profundidades de 0-15, 35-50 e 85-100 cm, mantendo-se a distância sistemática de 6 m entre as perfurações de cada período de coleta. As coletas foram realizadas com um auxílio de um trado tipo sonda, com um cilindro na extremidade, que possuía a capacidade de armazenar um volume de 275,053 cm<sup>3</sup> de material.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis e enviadas a Belém, para o Laboratório de Ecologia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará.



**Figura 2-** Representação esquemática do experimento montado para a coleta da biomassa radicular. Empresa JARI Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

As amostras foram lavadas e removidas as partículas do solo com o auxílio de peneiras até a obtenção das raízes desprovidas de outros materiais agregados. Realizou-se a triagem das raízes, classificando-as nas classes diamétricas  $\leq 1$ ,  $1 < 3$ ,  $> 3$  mm e raízes mortas, e levadas a uma estufa a 70° C, por um período de 24 horas. Após esse período, realizou-se a pesagem da biomassa radicular seca em uma balança analítica de precisão ( $\pm 0,00001$  g). Este material foi triturado/moído, sendo que, uniram-se as amostras coletadas nas camadas do perfil do solo, nas suas classes diamétricas, descartando as raízes mortas para a posterior análise dos nutrientes.

As análises dos nutrientes foram realizadas no Laboratório de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, seguindo a metodologia da EMBRAPA (1979). As amostras moídas foram digeridas com ataque de ácido nítrico + ácido perclórico na proporção 5:1, para análise dos macronutrientes P, K, Ca e Mg e ácido sulfúrico para digestão do N.

Para a análise do P, o desenvolvimento da cor foi feito com solução sulfomolibdica diluída e determinado por colorimetria no Fotocolorímetro em 660  $\mu$ n. Os nutrientes Ca, Mg e K foram determinados no Espectrofotômetro de Absorção Atômica. O N foi determinado pelo método de Kjeldahl, que após digestão das amostras, é destilado, coletado em solução de Ácido Bórico contendo indicador

misto (Verde de Bromocresol + Vermelho de Metila) e titulado com solução de ácido sulfúrico a 0,01N.

Na análise estatística dos dados foi utilizado o programa SAS System (SAS, 1988). Compararam-se médias de tratamentos através do teste t. Verificou-se os efeitos dos solos argiloso e arenoso comparando a concentração de cada nutriente individualmente presentes na biomassa radicular ( $\leq 1$ ,  $>1\leq 3$  e  $>3$  mm) dos ecossistemas (nativa x nativa, plantada x plantada e nativa x plantada). Realizou-se também a ANOVA (Análise de Variância) para verificar a significância das médias dentro dos blocos e dos ecossistemas e o conteúdo dos nutrientes em diferentes classes diamétricas.

### 3. RESULTADOS

Comparando-se as médias de concentrações dos nutrientes entre os ecossistemas, verificou-se que para o P, K, Ca, Mg e N (diâmetro  $>3$  mm), não existem diferenças significativas de acordo com o teste t, ao nível de 99% de probabilidade. Somente o N apresentou diferenças significativas, nas classes diamétricas  $\leq 1$  mm e  $>1\leq 3$  mm, nas áreas de solo arenoso e argiloso (Tabela 2). Quando se compara um ecossistema presente nas duas áreas (solo arenoso e argiloso), verifica-se que há diferença significativa, ao nível de 99% de probabilidade, apenas para o N (diâmetro  $\leq 1$  mm) nos ecossistemas de floresta nativa e plantio e o Ca (diâmetro  $>1\leq 3$  mm) no ecossistema de floresta nativa (Tabela 3).

A análise de variância (ANOVA) dos dados mostrou que entre todos os blocos analisados, para todos os nutrientes, o teste de significância foi não significativo para todas as variáveis dependentes ( $\leq 1$ ,  $>1\leq 3$  e  $>3$  mm) das áreas testadas. Avaliando-se a variação nos ecossistemas (nativa e plantio), verificou-se que o N, majoritariamente apresentou diferenças altamente significativas para as variáveis dependentes, com exceção da  $>3$  mm (solo argiloso). Para os demais nutrientes, P, K, Ca e Mg, os níveis de significâncias também foram altos.

**Tabela 2-** Comparação de médias dos nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ), na biomassa radicular, entre os diferentes ecossistemas, pelo teste t. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

| Nutriente               | Ecossistema | $\leq 1\text{mm}$ | $>1\leq 3\text{mm}$ | $>3\text{mm}$ |
|-------------------------|-------------|-------------------|---------------------|---------------|
| <b>N (Nitrogênio)</b>   |             |                   |                     |               |
| -----Solo Argiloso----- |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 14,2990a          | 11,5583a            | 8,7040a       |
|                         | Plantada    | 9,4751b           | 6,6788b             | 6,0514a       |
| -----Solo Arenoso-----  |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 17,2651a          | 11,6263a            | 8,5061a       |
|                         | Plantada    | 13,1145b          | 7,4352b             | 5,7555a       |
| <b>P (Fósforo)</b>      |             |                   |                     |               |
| -----Solo Argiloso----- |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 1,1724a           | 0,9830a             | 0,7042a       |
|                         | Plantada    | 0,9559a           | 0,6559a             | 0,6324a       |
| -----Solo Arenoso-----  |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 1,2222a           | 0,6914a             | 0,8070a       |
|                         | Plantada    | 1,0977a           | 0,8041a             | 0,8271a       |
| <b>K (Potássio)</b>     |             |                   |                     |               |
| -----Solo Argiloso----- |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 1,6949a           | 1,3143a             | 1,0440a       |
|                         | Plantada    | 1,2718a           | 0,8750a             | 0,9909a       |
| -----Solo Arenoso-----  |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 1,6830a           | 1,0442a             | 1,1006a       |
|                         | Plantada    | 1,4275a           | 1,0035a             | 0,9326a       |
| <b>Ca (Cálcio)</b>      |             |                   |                     |               |
| -----Solo Argiloso----- |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 2,3354a           | 2,2687a             | 1,8704a       |
|                         | Plantada    | 2,2340a           | 2,0814a             | 1,9570a       |
| -----Solo Arenoso-----  |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 2,3451a           | 1,4848a             | 1,7728a       |
|                         | Plantada    | 2,2976a           | 2,1578a             | 1,5205a       |
| <b>Mg (Magnésio)</b>    |             |                   |                     |               |
| -----Solo Argiloso----- |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 0,9969a           | 0,8619a             | 0,6841a       |
|                         | Plantada    | 0,9046a           | 0,6169a             | 0,6012a       |
| -----Solo Arenoso-----  |             |                   |                     |               |
|                         | Nativa      | 1,0109a           | 0,6127a             | 0,7151a       |
|                         | Plantada    | 0,9040a           | 0,7127a             | 0,5967a       |

Nota: Médias entre ecossistemas seguidas da mesma letra na vertical, não diferem significativamente pelo teste t ( $p < 0,01$ ).

**Tabela 3-** Comparação de médias dos nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ), na biomassa radicular, entre as diferentes áreas, pelo teste t. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

| Nutriente                   | Áreas | <1mm     | >1<3mm   | >3mm    |
|-----------------------------|-------|----------|----------|---------|
| <b>N (Nitrogênio)</b>       |       |          |          |         |
| -----Floresta Nativa-----   |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 14,2990a | 11,5583a | 8,7040a |
| Arenosa                     |       | 17,2651b | 11,6263a | 8,5061a |
| -----Floresta Plantada----- |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 9,4751a  | 6,6788a  | 6,0514a |
| Arenosa                     |       | 13,1145b | 7,4352a  | 5,7556a |
| <b>P (Fósforo)</b>          |       |          |          |         |
| -----Floresta Nativa-----   |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 1,1724a  | 0,9830a  | 0,7042a |
| Arenosa                     |       | 1,2222a  | 0,6914a  | 0,8070a |
| -----Floresta Plantada----- |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 0,9559a  | 0,6559a  | 0,6324a |
| Arenosa                     |       | 1,0977a  | 0,8041a  | 0,8271a |
| <b>K (Potássio)</b>         |       |          |          |         |
| -----Floresta Nativa-----   |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 1,6949a  | 1,3143a  | 1,0440a |
| Arenosa                     |       | 1,6830a  | 1,0442a  | 1,1006a |
| -----Floresta Plantada----- |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 1,2718a  | 0,8750a  | 0,9909a |
| Arenosa                     |       | 1,4275a  | 1,0035a  | 0,9326a |
| <b>Ca (Cálcio)</b>          |       |          |          |         |
| -----Floresta Nativa-----   |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 2,3354a  | 2,2687a  | 1,8704a |
| Arenosa                     |       | 2,3451a  | 1,4848b  | 1,7728a |
| -----Floresta Plantada----- |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 2,2340a  | 2,0814a  | 1,9570a |
| Arenosa                     |       | 2,2976a  | 2,1578a  | 1,5205a |
| <b>Mg (Magnésio)</b>        |       |          |          |         |
| -----Floresta Nativa-----   |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 0,9969a  | 0,8619a  | 0,6841a |
| Arenosa                     |       | 1,0109a  | 0,6127a  | 0,7151a |
| -----Floresta Plantada----- |       |          |          |         |
| Argilosa                    |       | 0,9047a  | 0,6169a  | 0,6012a |
| Arenosa                     |       | 0,9040a  | 0,7127a  | 0,5967a |

Nota: Médias entre ecossistemas seguidas da mesma letra na vertical, não diferem significativamente pelo teste t ( $p < 0,01$ ).

### 3.1. Concentração de nutrientes em raízes de diferentes classes diamétricas

Em todos os nutrientes analisados observou-se a tendência de maior concentração na classe de menor diâmetro, reduzindo quando aumenta a classe diamétrica, ou seja, existe a tendência dos nutrientes estarem inversamente proporcionais as classes de diâmetros.

O nitrogênio (N) teve a concentração na biomassa radicular da floresta nativa superior ao plantio nas áreas de solo arenoso e argiloso (Tabela 4), sendo esta superioridade evidente ainda, quando se distribui por classe diamétrica, onde na área de solo argiloso a biomassa de raízes da floresta nativa concentra 14,30 g kg<sup>-1</sup>, contra 9,47 g kg<sup>-1</sup> do plantio de *Eucalyptus*, na classe diamétrica ≤1 mm, e na área arenosa foi 17,26 e 13,11 g kg<sup>-1</sup> na floresta nativa e plantada, respectivamente (Figura 3A).

A biomassa de raízes da floresta nativa apresentou maior concentração de fósforo (P) que o plantio, com exceção da área de solo arenoso, onde a concentração do nutriente na biomassa radicular da floresta nativa é superada pelo plantio, sendo 0,69 e 0,80 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, na classe diamétrica >1≤3 mm, e também, na classe diamétrica >3 mm, onde a floresta plantada concentra 0,83 g kg<sup>-1</sup> e a nativa 0,81 g kg<sup>-1</sup> de fósforo, observa-se ainda que a floresta nativa e a plantada, concentram mais nutriente na classe >3 mm, superando a >1≤3 mm (Figura 3B).

Para o potássio (K), a mesma tendência é observada: a biomassa radicular do plantio concentra menos nutriente que na floresta nativa, mas quando compara as concentrações nas classes diamétricas, logo se observa que o diâmetro >3 mm tem mais nutriente concentrado que >1≤3 mm, sendo 0,99 e 0,87 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, na floresta plantada do solo argiloso e 1,10 e 1,04 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, na floresta nativa do solo arenoso (Figura 3C).

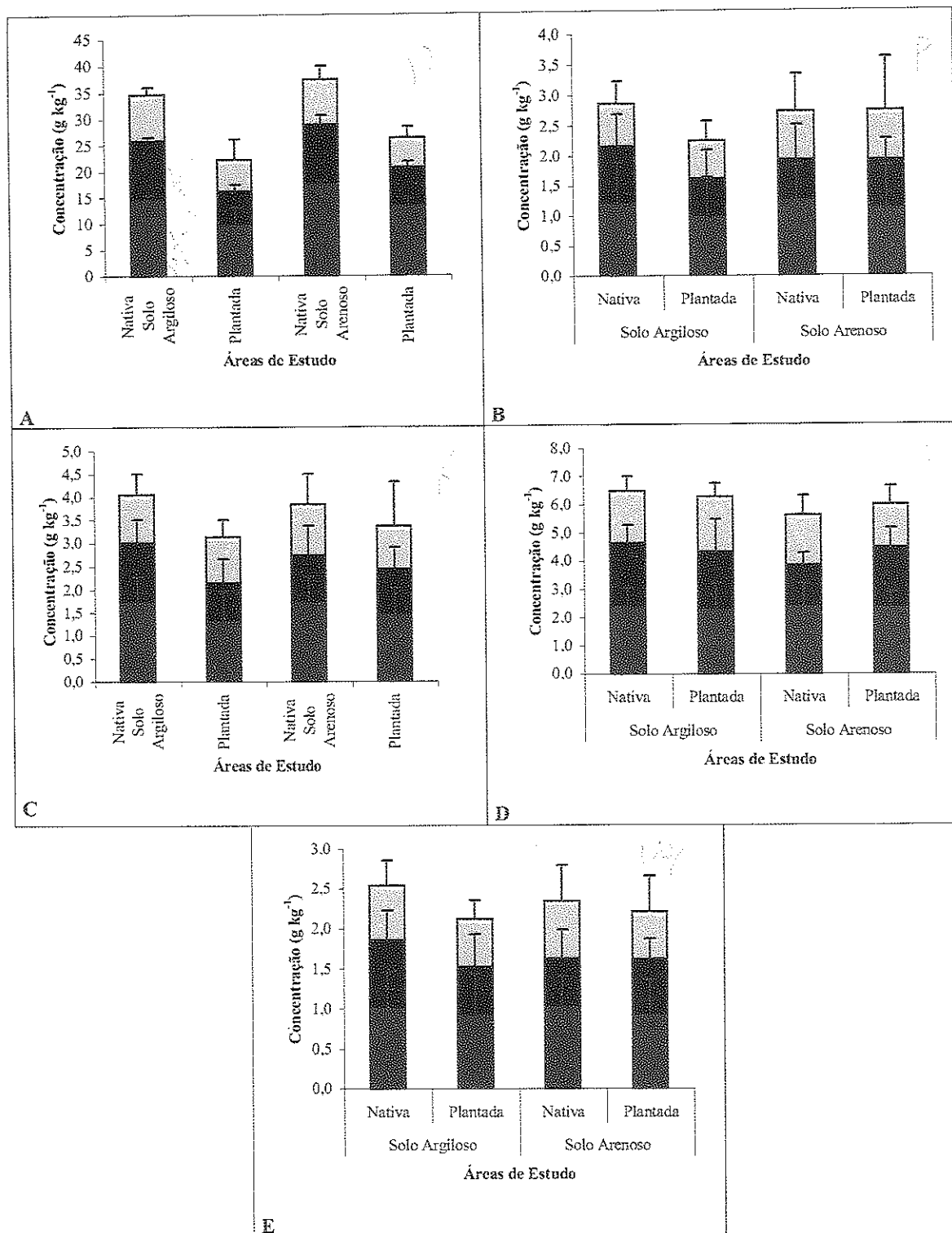
O cálcio (Ca), teve um padrão semelhante ao P, onde a concentração na biomassa de raízes do *Eucalyptus* supera a floresta nativa, na área de solo argiloso, com 1,96 e 1,87 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente na classe >3 mm de diâmetro e, na área de solo arenoso, 2,15 g kg<sup>-1</sup> contra 1,48 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente na classe diamétrica >1≤3 mm (Figura 3D), observando-se ainda na área de solo arenoso, floresta nativa, uma superação da classe >3mm sobre a >1≤3 mm (1,77 e 1,48 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Nesta última classe, o magnésio (Mg), manteve as mesmas características, com a concentração de 0,71 g kg<sup>-1</sup> para a floresta plantada e 0,61 g kg<sup>-1</sup> para a floresta nativa da área arenosa, observa-se ainda que nesta mesma área, a classe >3 mm de diâmetro supera a >1≤3 mm (Figura 3E).

A concentração média de cada nutriente nos ecossistemas e tipos de solos avaliados, permite representá-los na seguinte escala decrescente N>Ca>K>P>Mg (Tabela 4).

**Tabela 4-** Concentração média dos nutrientes (g kg<sup>-1</sup>) presentes na biomassa radicular. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

| Nutrientes | Solo Argiloso |             | Solo Arenoso |             |
|------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|            | Nativa        | Plantada    | Nativa       | Plantada    |
| N          | 11,52 (2,80)  | 7,68 (1,87) | 12,47 (4,44) | 8,72 (3,91) |
| P          | 0,95 (0,24)   | 0,73 (0,19) | 0,91 (0,28)  | 0,89 (0,19) |
| K          | 1,35 (0,33)   | 1,04 (0,21) | 1,28 (0,35)  | 1,09 (0,31) |
| Ca         | 2,16 (0,25)   | 2,06 (0,18) | 1,87 (0,44)  | 1,96 (0,47) |
| Mg         | 0,85 (0,16)   | 0,69 (0,17) | 0,78 (0,20)  | 0,72 (0,18) |

Nota: O Desvio Padrão está entre parênteses.



**Figura 3** – Concentração Média de A-Nitrogênio, B-Fósforo, C-Potássio, D-Cálcio e E-Magnésio em diferentes diâmetros das raízes (■ ≤1, ■ >1≤3 e □ >3 mm). Empresa JARI Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

### 3.2. Quantificação de nutrientes em raízes no perfil do solo

A distribuição dos nutrientes no perfil do solo segue a tendência da biomassa, que no geral é maior na superfície (Menezes *et al.*, 2002), por conseguinte, o conteúdo de nutrientes na biomassa é alto, reduzindo com o avanço para as camadas profundas do solo.

Observa-se então, que a quantidade dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg, nos ecossistemas de floresta nativa e plantios de *Eucalyptus* (Tabela 5), majoritariamente, a maior quantidade de nutrientes está na superfície do solo (0-15 cm de profundidade) e a floresta nativa supera o *Eucalyptus* nas duas áreas estudadas.

Independentemente da profundidade o N apresentou uma quantidade superior a todos os nutrientes, sendo 123,08 kg ha<sup>-1</sup> na superfície do solo argiloso e 115,58 kg ha<sup>-1</sup> no solo arenoso na floresta nativa e nos plantios 9,22 e 19,90 kg ha<sup>-1</sup> na superfície (0-15 cm) do solo argiloso e arenoso, respectivamente (Tabela 5). O Ca variou de 22,24 kg ha<sup>-1</sup> na floresta nativa (solo argiloso) a 2,89 kg ha<sup>-1</sup> na superfície da floresta de *Eucalyptus* dessa mesma área (Tabela 5). O K tem uma quantidade significativa na área de solo argiloso, com 12,13 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 5) na floresta nativa. O P e o Mg (Tabela 5), vêm logo em seguida, sendo suas maiores quantidades 8,41 e 7,86 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na floresta nativa, solo argiloso (0-15 cm de profundidade).

**Tabela 5-** Estoque de nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) presentes na biomassa radicular. Empresa Jari Celulose S/A, distrito Monte Dourado, município de Almeirim-PA.

|            |                   | Solo Argiloso        |              |             | Solo Arenoso   |              |             |
|------------|-------------------|----------------------|--------------|-------------|----------------|--------------|-------------|
|            |                   | Camadas do solo (cm) |              |             |                |              |             |
| Nutrientes | Ecossistemas      | 0-15                 | 35-50        | 85-100      | 0-15           | 35-50        | 85-100      |
| N          | Nativa            | 123,08 (16,11)       | 24,92 (6,75) | 8,51 (3,09) | 115,58 (15,35) | 41,74 (5,73) | 14,4 (4,04) |
|            | <i>Eucalyptus</i> | 9,22 (1,88)          | 5,03 (2,12)  | 1,25 (0,38) | 19,90 (3,85)   | 7,13 (2,31)  | 3,10 (0,71) |
| P          | Nativa            | 8,41 (1,27)          | 2,41 (0,80)  | 0,71 (0,32) | 7,51 (1,65)    | 2,40 (0,41)  | 0,95 (0,28) |
|            | <i>Eucalyptus</i> | 1,05 (0,29)          | 0,57 (0,34)  | 0,11 (0,05) | 3,10 (1,54)    | 0,82 (0,32)  | 0,30 (0,10) |
| K          | Nativa            | 12,13 (1,95)         | 3,54 (1,20)  | 1,11 (0,53) | 11,52 (2,00)   | 3,89 (0,67)  | 1,46 (0,51) |
|            | <i>Eucalyptus</i> | 1,43 (0,37)          | 1,14 (0,78)  | 0,20 (0,12) | 4,07 (2,01)    | 1,01 (0,33)  | 0,37 (0,11) |
| Ca         | Nativa            | 22,24 (2,84)         | 5,95 (1,95)  | 1,62 (0,64) | 16,44 (2,36)   | 6,17 (1,11)  | 2,18 (0,85) |
|            | <i>Eucalyptus</i> | 2,89 (0,68)          | 1,88 (1,00)  | 0,38 (0,17) | 4,36 (0,87)    | 1,69 (0,60)  | 0,76 (0,23) |
| Mg         | Nativa            | 7,86 (0,96)          | 2,13 (0,65)  | 0,66 (0,27) | 6,73 (1,15)    | 2,25 (0,36)  | 0,85 (0,30) |
|            | <i>Eucalyptus</i> | 0,96 (0,24)          | 0,54 (0,31)  | 0,11 (0,05) | 1,82 (0,48)    | 0,64 (0,23)  | 0,25 (0,07) |

Nota: O Erro Padrão da Média está entre parênteses.

### 3.3. Variação sazonal de nutrientes contidos em raízes

A quantidade de nutrientes nas raízes foi distinta para alguns nutrientes. O N e o Ca apresentaram maiores valores no período chuvoso e P, K e Mg destacaram-se com grandes valores no período seco (Figura 4).

A relação entre a biomassa e as concentrações dos nutrientes no decorrer do período analisado, variou para o N, tendendo a ser maior no período chuvoso (Figura 4A), especialmente no mês de abril, na floresta nativa (solo argiloso), com  $78 \text{ kg ha}^{-1}$  e mês de fevereiro para o *Eucalyptus*, com  $8,90 \text{ kg ha}^{-1}$ , observando-se ainda, que na floresta nativa (solo arenoso), mês de dezembro, a quantidade de  $85,81 \text{ kg ha}^{-1}$ , no entanto, no plantio, o maior valor desse nutriente foi observado no mês de agosto (período seco), sendo  $18,14 \text{ kg ha}^{-1}$ . Mesmo comportamento teve o Ca, diferenciando-se apenas na floresta nativa (solo argiloso), que a maior quantidade do nutriente foi no mês de fevereiro ( $12,96 \text{ kg ha}^{-1}$  – Figura 4D). O P e o Mg tiveram o comportamento de maiores valores quantitativos nos meses de junho (período seco), solo argiloso e agosto, solo arenoso, como observa-se nas figuras 4B e 4E. O P teve a maior quantidade  $7,25 \text{ kg ha}^{-1}$ , na floresta nativa (solo argiloso) e  $4,41 \text{ kg ha}^{-1}$  no plantio (solo arenoso), sendo que o Mg seguiu o mesmo padrão, com  $5,89$  e  $2,97 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. O K foi semelhante ao P e Mg, com exceção da floresta nativa do solo arenoso, com  $8,92 \text{ kg ha}^{-1}$ , no mês de junho (Figura 4C), que também foi a maior quantidade detectada desse nutriente.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Concentração de nutrientes em raízes de diferentes classes diamétricas

A concentração de nutrientes no compartimento subterrâneo (raízes), geralmente é inferior a parte aérea (Ranger & Gelhaye, 2001).

A concentração média de nutrientes, no geral, tendem ser maior na floresta nativa do que no plantio de *Eucalyptus*, independentemente do tipo de solo avaliado. Cuevas & Medina (1988) encontraram valores elevados para N ( $15,9 \text{ mg g}^{-1}$ ), K ( $4,30 \text{ mg g}^{-1}$ ) e Mg ( $0,97 \text{ mg g}^{-1}$ ), e baixos para o P ( $0,85 \text{ mg g}^{-1}$ ) e o Ca ( $0,87 \text{ mg g}^{-1}$ ), quando comparados ao presente estudo, no entanto, embora o estudo tenha sido desenvolvido em floresta nativa na Amazônia, a metodologia possibilitou uma grande diferença, pois a concentração dos nutrientes, foi avaliada em raízes com diâmetros muito finos, o que geralmente favorece a maior concentração de nutrientes.

A concentração de nutrientes é maior na classe de menor diâmetro, e decresce progressivamente com o aumento do diâmetro da raiz. Resultados seguindo a mesma tendência foram encontrados por Fahey *et al.* (1988); Gordon & Jackson (2000), além de Hawkins & Henry (1999), para os nutrientes N, P e K, e Hendrick & Pregitzer (1993), que encontraram uma redução gradativa na concentração de N, quando aumentava o diâmetro das raízes. Embora, este padrão seja observado avaliando as concentrações dos nutrientes, quando se quantifica o conteúdo dos nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em diferentes diâmetros, torna-se também evidente esta disposição (Van Lear & Kapeluck, 1995).

#### 4.2. Quantificação de nutrientes em raízes no perfil do solo

O decréscimo de nutrientes nas camadas do perfil do solo (0-15, 35-50 e 85-100 cm) é bem evidente neste trabalho. Avaliando a distribuição de nutrientes no perfil do solo, Singh *et al.* (2000), observaram a mesma tendência para o N em plantios com *Eucalyptus camaldulensis*, *Acácia nilótica* e florestas mistas, assim como Hendricks *et al.* (2000), para o *Pinus resinosa* (red pine).

O conteúdo de nutrientes nas raízes, está em função da biomassa e da fertilidade do solo (George *et al.*, 1997). Embora exista escassez de trabalhos acerca de nutrientes nas raízes no perfil do solo, pode-se considerar que o conteúdo de nutrientes será tão alto quanto for a biomassa e a concentração do nutriente, ou seja, no trabalho de Menezes *et al.* (2002), a biomassa tende a se concentrar na camada superficial do solo, o que determinou maior conteúdo de nutrientes na superfície dos solos estudados. *SOIL x perfil*

Os padrões de distribuições decrescentes dos nutrientes foram similares a outros estudos. Em ecossistema da floresta amazônica, no Brasil, Klinge (1976), encontrou para o N, P, K, Ca e Mg, valores de, 404, 5, 31, 55 e 26  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Yin *et al.* (1991); Liu & Tyree (1997), encontraram a mesma distribuição ( $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ ), havendo apenas uma inversão de posições entre o P e o Mg, quando comparados ao presente estudo, e, no estudo de Nambiar (1987), a distribuição decrescente é alterada entre o P e o K, como observa-se,  $\text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{K} > \text{Mg}$ . McGrath *et al.* (2001), consideraram o P como um nutriente limitante para o desenvolvimento de raízes em agroecossistemas, e Raich *et al.* (1994) identificou o N sendo limitante para o crescimento das raízes e Cuevas & Medina (1988) consideraram além do P, o Ca, como elementos limitantes para a floresta nativa na Venezuela.

#### 4.3. Variação sazonal de nutrientes contidos em raízes

A variação sazonal dos nutrientes na Amazônia é bem diferente de outras regiões do mundo, onde as estações do ano são bem definidas.

Avaliando a concentração de nutrientes em plantios Oliveira *et al.* (1994) descobriram que em plantios de *Eucalyptus* há uma variação entre diferentes espécies deste gênero, verificou-se que as concentrações dos nutrientes estão, em geral, superiores ao presente estudo, provavelmente pelo experimento ter sido desenvolvido em casa de vegetação, onde as condições são totalmente controladas, e ainda, o sistema radicular muito jovem contém alta concentração de nutrientes na sua biomassa, e, para Barros *et al.* (1997) o K nas raízes de *Eucalyptus* flutua entre 5,5 e 8,3 vezes menos do que na parte aérea, em função da idade do povoamento.

A variação encontrada no presente estudo é similar ao encontrado por George *et al.* (1997) nas espécies *Pseudotsuga menziesii* e *Picea abies*, com os nutrientes N, K, P e Mg, com o Ca apresentando comportamento diferenciado. Em florestas dominadas pelo gênero *Quercus*, Yin *et al.* (1991) encontraram altas concentrações de N, P e K no mês de agosto (verão) na Alemanha, assim como Hawkins *et al.* (1999) verificaram que as raízes de *Pseudotsuga menziesii* e *Abies amabilis* apresentaram maior conteúdo dos nutrientes N, P e K no verão, no Canadá, que é um período mais favorável ao desenvolvimento e crescimento das raízes das espécies. O N disponível tem menor efeito sobre a dinâmica das raízes do que o P disponível (Ostertag, 2001).

A influência sazonal sobre a dinâmica dos nutrientes ainda é pouco estudado, havendo necessidades de mais pesquisas sobre a influência dos fatores climáticos sobre o comportamento dos nutrientes na biomassa radicular, principalmente na região Amazônica, que oferece a situação de um clima distinto, com duas estações.

## 5. CONCLUSÕES

- a) A concentração dos nutrientes foi inversamente proporcional às classes diamétricas, e a distribuição decrescente da concentração média foi  $N > Ca > K > P > Mg$ ;
- b) O conteúdo de nutrientes foi maior na camada superficial do solo (0-15 cm), reduzindo nas camadas intermediária (35-50 cm) e inferior (85-100 cm), e a floresta nativa foi superior ao *Eucalyptus* nas duas áreas estudadas;
- c) A variação sazonal foi distinta para os nutrientes, onde o N e o Ca tiveram seus maiores valores no período chuvoso e P, K e Mg no período seco.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, F.S.M.; FISCH, G.; VENDRAME, I.F. Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil. Acta Amazônica, v.29, n.3, p.395-409, 1999.
- BARROS, N.F.; TEIXEIRA, P.C.; TEIXEIRA, J.L. Nutrição e produtividade de povoamentos de eucalipto manejados por talhadia. IPEF Série Técnica, v.12, n.30, p.79-87, 1997.
- BOWLLING, D.J.F. Uptake of ions by plant roots. London: Chapman and Hall, 1976, 212p.
- CASPER, B.B.; JACKSON, R.B. Plant competition underground. Annual Review of Ecology and Systematics, v.28, p.545-570, 1997.
- CHAPIN, F.S. The mineral nutrition of wild plants. Annual Review of Ecology and Systematics, v.11, p.232-260, 1980.
- CORRÊA, J.J.L.; JACOMINE, P.K.T.; SANTOS, R.D. Solos do Jarí. Rio de Janeiro: Companhia Florestal Monte Dourado, 1989. 128p.
- CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within amazonian forests. II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. Oecologia, v.76, p.222-235, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Critérios para descrição de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 247p.
- EVANS, W.R. Floresta tropical – reflorestamento. Brasil Florestal, v.60, p.50-56, 1984.
- FAHEY, T.J. et al. Root decomposition and nutrient flux following whole-tree harvest of Northern Hardwood Forest. Forest Science, v.34, n.3, p.744-768, 1988.

JORDAN, C.F.; KLINE, J.R. Mineral cycling: some basic concepts and their application in a tropical rain forest. Annual Review of Ecology and Systematics, v.3, p.33-50, 1972.

KELLMAN, M.; TACKABERRY, R. Tropical environments: the functioning and management of tropical ecosystems. London: Routledge, 1997. 380p.

KLINGE, H. Root mass estimation in lowland tropical rainforests of Central Amazonia, Brazil. IV. Nutrients in fine roots from latosols. Tropical Ecology, v.17, p.79-88, 1976.

LEUSCHNER, C. et al. Root competition between beech and oak: a hypothesis. Oecologia, v.126, p.276-284, 2001.

LIU, X.; TYREE, M.T. Root carbohydrate reserves, mineral nutrient concentrations and biomass in a healthy and a declining sugar maple (*Acer saccharum*) stand. Tree Physiology, v.17, p.179-185, 1997.

MAILLY, D.; CHRISTANTY, L.; KIMMINS, J.P. Without bamboo, the land dies: nutrient cycling and biogeochemistry of a Javanese bamboo talun-kebun system. Forest Ecology and Management, v.91, p.155-173, 1997.

MAJDI, H. Changes in fine root production and longevity in relation to water and nutrient availability in a Norway spruce stand in northern Sweden. Tree Physiology, v.21, p.1057-1061, 2001.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

McGRATH, D.A.; DURYEA, M.L.; CROPPER, W.P. Soil phosphorus availability and fine root proliferation in Amazonian agroforests 6 years following forest conversion. Agricultural, Ecosystems and Environment, v.83, p.271-284, 2001.

MENEZES, M.C.; McNABB, K.L.; COSTA, L.G.S.; CÂNCIO, O.N. Comparação da biomassa de raízes finas de sistemas de floresta nativa e plantações de *Eucalyptus* na Amazônia Oriental. [S.l.: s.n.], 2002. Não publicado.

- MONTAGNINI, F.; SANCHÓ, F. Aboveground biomass and nutrients in young plantations of indigenous trees: implications for site nutrient conservation. Journal of Sustainable Forestry, v.1, n.4, p.115-139, 1994.
- NAMBIAR, E.K.S. Do nutrients retranslocate from fine roots? Canadian Journal of Forest Research, v.17, p.913-918, 1987.
- NAMBIAR, E.K.S.; SANDS, R. Competition for water and nutrients in forests. Canadian Journal of Forest Research, v.23, p.1955-1968, 1993.
- NOBRE, C.A. Impactos climáticos do desmatamento da Amazônia. Brasil Florestal, v.16, n.49, p.43-49, 1989.
- OLIVEIRA, V.A.B. et al. Raízes e tocos de mudas de *Eucalyptus* como fontes de nutrientes para as brotações. Revista Árvore, Viçosa (MG), v.18, n.1, p.22-32, 1994.
- OSTERTAG, R. Effects of nitrogen and phosphorus availability on fine-root dynamics in Hawaiian montane forests. Ecology, v.82, n.2, p.485-499, 2001.
- POGGIANI, F. Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems: silvicultural implications. IPEF, Piracicaba, v.31, p.33-40, 1985.
- POGGIANI, F.; STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. Série Técnica IPEF, v.12, n.31, p.33-44, 1998.
- RAICH, J.W.; RILEY, R.H.; VITOUSEK, P.M. Use of root-ingrowth cores to assess nutrient limitations in forest ecosystems. Canadian Journal of Forest Research, v.24, p.2135-2138, 1994.
- RANGER, J.; GELHAYE, D. Belowground biomass and nutrient content in a 47-year-old Douglas-fir plantation. Annals of Forest Science, v.58, p.423-430, 2001.
- ROLLET, B. Jari: succès ou échec: un exemple de développement agro-sylvo-pastoral et industriel em Amazonie brésilienne. Revue Bois et Forêts des Tropiques, v.192, juillet-août, p.3-34, 1980.

SCHILLING, E.B.; LOCKABY, B.G.; RUMMER, R. Belowground nutrient dynamics following three harvest intensities on the Pearl River Floodplain, Mississippi. Soil Science Society of America Journal, v.63, p.1856-1868, 1999.

SILVA, I.C.B. et al. Fitossociologia de um trecho de floresta em Monte Dourado, Almeirim-Pará. In: LBA CIENTIFIC CONFERENCE, I., Book Abstract... Belém, 2000. p. 72.

SINGH, B. et al. Fine root biomass and tree species effects on potential N mineralization in afforested sodic soils. Plant and Soil, v.219, p.81-89, 2000.

SOLLINS, P. et al. The internal element cycles of an old-growth Douglas-fir ecosystem in western Oregon. Ecological Monographs, v.50, n.3, p.261-285, 1980.

SPANGENBERG, A. et al. Nutrient storage and export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazônia (Jari). Forest Ecology and Management, v.80, p.225-234, 1996.

SCHUMACHER, M.V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *bicostata*. Revista Árvore, v.22, n.2, p.281-286, 1998.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA/EMBRAPA- Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather). Belém: SUDAM: EMBRAPA/SNLCS, 1993. 53p.

VAN LEAR, D.H.; KAPELUCK, P.R. Above- and below-stump biomass and nutrient content of a mature loblolly pine plantation. Canadian Journal of Forest Research, v.25, p.361-367, 1995.

WILSON, J.B. Shoot competition and root competition. The Journal of Applied Ecology, v.25, p.279-296, 1988.

WISE, P.K.; PITMAN, M.G. Nutrient removal and replacement associated with short-rotation eucalypt plantations. Australian Forestry, v.44, n.3, p.142-152, 1981.

YIN, X.; PERRY, J.A.; DIXON, R.K. Temporal changes in nutrient concentrations and contents of fine roots in a *Quercus* forest. Forest Ecology and Management, v.44, p.175-184, 1991.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho contribuiu para o conhecimento da dinâmica da biomassa e dos nutrientes na floresta Amazônica, avaliando os efeitos do manejo intensivo do solo como forma de uso da terra na região. Desta forma, em sistemas de curta rotação é necessário que se faça reposição dos nutrientes com fertilizantes para o próximo ciclo, pois os nutrientes removidos podem causar um impacto sobre o manejo da próxima rotação.

As raízes juntamente com seus nutrientes não são consideradas no balanço de entrada e saída, sendo que ficam remanescentes no ecossistema contribuindo para a próxima rotação. Então, há necessidade que os grandes empreendimentos com plantações florestais passem a considerar a biomassa e os nutrientes nas raízes como um elemento que participa ativamente do manejo do ecossistema, e que certamente reduziria o valor negativo no balanço da entrada e saída de nutrientes de uma plantação florestal.

Há necessidade de estudos que avaliem o impacto da exploração madeireira em floresta nativa – quer seja pelo uso tradicional ou através do Manejo Sustentável – sobre os estoques de nutrientes e biomassa de raízes, para dessa forma, verificar se há sustentabilidade para o balanço de nutrientes nesse ecossistema quando submetido a interferência antrópica ou se haverá necessidade de mudança na forma de uso das florestas da Amazônia.