



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA **Embrapa**  
EMBRAPA – AMAZÔNIA ORIENTAL

MARIA DE LOURDES SOARES OLIVEIRA

**INDICADORES DA QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO COM AS ESPÉCIES PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* HUBER ex DUCKE) E CURAUÁ (*Ananas comosus* var. *erectifolius* [L. B. SMITH] COPPENS & LEAL) NO MUNICÍPIO DE AURORA DO PARÁ (PA)**

**Belém  
2009**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA **Embrapa**  
EMBRAPA – AMAZÔNIA ORIENTAL

MARIA DE LOURDES SOARES OLIVEIRA

**INDICADORES DA QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO COM AS ESPÉCIES PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* HUBER ex DUCKE) E CURAUÁ (*Ananas comosus* var. *erectifolius* [L. B. SMITH] COPPENS & LEAL) NO MUNICÍPIO DE AURORA DO PARÁ (PA)**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de **Doutor**.  
Orientadora: Eng<sup>a</sup> Agônoma Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Marly de Lourdes S. Santos.  
Co-Orientadoras: Eng<sup>a</sup> Agônoma Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Siu Mui Tsai.  
Geóloga Dr<sup>a</sup> Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo.

**Belém  
2009**

---

Oliveira, Maria de Lourdes Soares

Indicadores da qualidade de solos sob diferentes sistemas de cultivo com as espécies paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) e curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* [L. B. Smith] Coppens & Leal) no município de Aurora do Pará (PA)/Maria de Lourdes Soares Oliveira.- Belém, 2009.

135f.:il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2009.

1. Sistemas agroflorestais 2. Qualidade do solo 3. Paricá 4. Recuperação de solo alterado. 5. Áreas degradadas 6. Amazônia I. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA **Embrapa**  
EMBRAPA – AMAZÔNIA ORIENTAL

MARIA DE LOURDES SOARES OLIVEIRA

**INDICADORES DA QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO COM AS ESPÉCIES PARICÁ (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* HUBER ex DUCKE) E CURAUÁ (*Ananas comosus* var. *erectifolius* [L. B. SMITH] COPPENS & LEAL) NO MUNICÍPIO DE AURORA DO PARÁ (PA)**

Tese apresentada à Coordenadoria do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, Área de Concentração Agroecossistemas da Amazônia como parte das exigências para obtenção do grau de **Doutor**.

Aprovada em 30 de junho de 2009

BANCA EXAMINADORA

---

Maria Marly de Lourdes S. Santos, Doutora - Orientadora  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

---

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo, Doutora  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

---

Maria de Fátima Pinheiro, Doutora  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

---

Jorge Luiz Piccinin, Doutor  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

---

Paulo Luiz Contente de Barros, Doutor  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

## **DEDICO**

Ao meu filho Wagner pelo incondicional  
apoio e incentivo em todos os momentos

e

À minha inesquecível, amantíssima  
e incansável Mãe Maria José (*in memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me concedido a força espiritual para transpor os obstáculos durante a realização do presente curso;

À minha amantíssima mãe Maria José (*in memoriam*) por ter me permitido a vida, compartilhado comigo a criação de meu filho Wagner, além de ter sido meu maior referencial de amor, abnegação, compreensão, sabedoria e renúncia a favor do próximo;

Ao meu amado filho Wagner pelo constante incentivo na busca para realizar o melhor, amor, carinho, compreensão, pela extrema dedicação e preocupação comigo, e sobretudo por existir na minha vida;

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade de realizar o doutorado;

À Empresa Tramontina Belém S/A, por conceder a área experimental e acomodações durante a fase de coleta de campo;

Ao CENA, Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Laboratório de Biologia Celular e Molecular, por ter disponibilizado a sua estrutura para a realização das análises moleculares;

À FAPESPA, Fundação de Pesquisa do Estado do Pará, pelo apoio financeiro a este estudo através do projeto “Núcleo de pesquisa em avaliação de sistemas de uso do solo por meio de indicadores de sustentabilidade ambiental, microbiológico e bioquímicos em sistemas florestais e agroflorestais”;

Ao CNPq pelo apoio em termos de infraestrutura através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia/MPEG Uso da Terra e Biodiversidade;

À professora Dra. Maria Marly de Lourdes Silva Santos pela orientação, estímulo e confiança durante as etapas do curso;

À minha co-orientadora Dra. Siu Mui Tsai pelo inestimável apoio e amizade que permitiram a realização da parte prática deste trabalho no Laboratório de Biologia Celular e Molecular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA –USP);

À Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo pela estimulante co-orientação, apoio, incentivos e abertura para a discussão de novas idéias;

À Dra. Iracema Maria Castro Coimbra Cordeiro, pela amizade, ajuda junto a Empresa Tramontina Belém S/A e constante incentivo e apoio;

Ao professor Paulo Luiz Contente de Barros pela disponibilidade em atender meus apelos de ajuda, paciência, pelos ensinamentos e sugestões referentes à parte estatística deste estudo;

Ao colega Paulo Cerquera pela paciência e apoio na confecção dos gráficos deste trabalho;

À Dra. Flávia Pacheco e Dra. Daniela Campos, pela valiosa ajuda, colaboração e suporte técnico na realização das análises no Laboratório de Biologia Celular e Molecular (CENA);

Aos técnicos do Laboratório de Biologia Celular e Molecular José Elias Gomes, Fábio Duarte e Wagner Piccinini por toda ajuda e apoio a mim dispensada;

Ao Dr. Jorge Piccinin pela amizade, companheirismo e pelo valioso apoio técnico durante as etapas de coleta de campo;

À Dra. Aliete Vilecorta de Barros pelo apoio durante as análises estatísticas;

À secretária do Curso de Doutorado Shirley Costa pela atenção e consideração em todos os momentos e situações;

Ao Dr. Antônio Hernades, UFPA, pela valorosa colaboração nos estudos taxonômicos;

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“É um grande privilégio ter vivido uma vida difícil”.

(Indira Gandhi)

## RESUMO

A maioria das atividades de exploração dos recursos naturais da Amazônia implicam na destruição da sua cobertura vegetal expondo o solo a processos de degradação, originando assim, grandes extensões de áreas consideradas improdutivas. Visando contribuir para o aumento do conhecimento sobre recuperação de solos alterados nessa região, este trabalho objetivou avaliar a melhoria da qualidade dos solos através de indicadores químicos, microbiológicos e físicos. O estudo foi realizado no campo experimental da Empresa Tramontina Belém S. A. em Aurora do Pará (PA), onde através de delineamento estatístico em blocos completamente ao acaso com quatro repetições, foram implantados sistemas de cultivo com as espécies paricá (*Schizolobium parahiba* var. *amazonicum* [Huber ex Ducke] Barneby), mogno (*Swietenia macrophylla* King), freijó (*Cordia goeldiana* Huber) e curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* [L.B. Smith]), que originaram os seguintes tratamentos: 1- monocultivo com a espécie curauá; 2 – monocultivo com a espécie paricá; 3 – sistema agroflorestal com as espécies paricá+mogno+freijó+curauá; 4 – sistema agroflorestal com as espécies paricá+curauá; 5 – Testemunha (Capoeira adjacente aos experimentos). Para determinação das variáveis químicas, microbiológicas e físicas, foram coletadas em novembro/2006, amostras de solo nas profundidades de 0 -10cm, 10-20cm e 20-40cm em todas as parcelas de cada tratamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste Student Newman Keuls (SNK), ao nível de 95% de probabilidade. Os resultados indicaram que houve diferenças significativas entre as coberturas vegetais, notadamente com relação aos parâmetros químicos MO (matéria orgânica), SB (soma de bases), T (capacidade de troca de cátions), V (saturação por bases) e os íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e aos indicadores microbiológicos CBM (carbono da biomassa microbiana), NBM (nitrogênio da biomassa microbiana),  $qMIC$  (quociente microbiano) e  $qCO_2$  (quociente metabólico). Essas diferenças mostraram que o monocultivo com a espécie paricá, demonstrou maior capacidade de melhorar os atributos da qualidade do solo quando comparado aos sistemas agroflorestais formados com essa mesma espécie. O estudo da diversidade microbiana dos solos através de técnicas moleculares com DNA e da visualização das características morfológicas, mostrou a presença de bactérias das espécies *Pseudomonas fluorescens*, *Burkholderia cepacea*, *Burkholderia* sp, *Pseudomonas veronii*, *Pseudomonas putida* e *Burkholderia cenocepacea*; e dos gêneros de fungos *Absidia* sp, *Aspergillus* sp, *Cladosporium* sp, *Penicillium* sp, *Trichoderma* sp e *Paecilomyces* sp. No solo sob o tratamento 3 foi observado maior diversidade de espécies microbianas.

**Palavras chave:** sistemas agroflorestais, qualidade de solo, “paricá”, recuperação de solos alterados, reflorestamento, bactérias do solo, fungos do solo, Amazônia, áreas degradadas.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Maria de Lourdes Soares Oliveira, Federal Rural University of Amazonia (Universidade Federal Rural da Amazonia – UFRA). June, 2009. **Indicators of Soils' Quality under different Cultivation Systems with species paricá (*Schizolobium parahiba* var. *amazonicum* [Huber ex Ducke]) and curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* [L. B. Smith] Coppins & Leal) in Aurora do Pará Municipality (Pará State – PA).**

The natural resources of Amazonia are mostly explored through economic activities which bring on the destruction of its natural vegetal covering, thus exposing the soil to a degradation process giving place to large extensions of unproductive areas. In order to achieve a higher level of scientific knowledge about altered soils' recovering processes in the region of Amazon Rain Forest, this work was aimed at the evaluation of the improvement of soils quality through chemical, microbiological and physical indicators. . The study was carried out with experiments conducted in the “Tramontina Belém S. A.” Company's Experimental Field in Aurora do Pará Municipality (Pará State – PA), using an outline of random block design with four replications, implanting cultivation systems with the species paricá (*Schizolobium parahiba* var. *amazonicum* [Huber ex Ducke] Barneby), mahogany (*Swietenia macrophylla* King), friejo (*Cordia goeldiana* Huber) and curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius*, [L.B. Smith]), from which derived the treatments as following: 1 – curauá's monoculture system; 2 – paricá's monoculture system; 3 – combined paricá+mahogany+friejo+curauá species agroforestry system; 4 – combined paricá+curauá species agroforestry system; and 5 – control plot constituted by secondary forest next to the experiments. To determine chemical, microbiological and physical variables the soil sampling was carried out in november of 2006 in the depths 0 to 10, 10 to 20 and 20 to 40 centimeters in all plots of each treatment. The data was submitted to Analysis of Variance and the obtained means compared through Student Newman Keuls Test (SNK) at 95% probability rate. The results presented substantial differences among vegetal coverings numbers, specially as to OM (organic matter), CEC (Cation Exchange Capacity), V% (Degree of Basis Saturation), Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> chemical parameters as well as to microbiological indicators MBC (Microbial Biomass Carbon), MBN (Microbial Biomass Nitrogen), *q*MIC (Microbial Quotient) and *q*CO<sub>2</sub> (Metabolic Quotient). Such differences have showed that the paricá's forestry monoculture presented a higher capability of improving soil's quality rates if compared to those agroforestry systems in which this same species is used combined with others. The study of microbial diversity through in the soil achieved by means of DNA molecular techniques and through the study of morphological characteristics, detected the presence of the following species of bacteria: *Pseudomonas fluorescens*, *Burkholderia* sp, *Burkholderia cepacea*, *Pseudomonas veronii*, *Pseudomonas putida* and *Burkholderia cenocepacea*. As to fungi, were found the genera *Absidia* sp, *Aspergillus* sp, *Cladosporium* sp, *Penicillium* sp, *Trichoderma* sp and *Paecilomyces* sp. In the soil of treatment 3 it was observed higher level of diversity microbial species.

**Keywords:** agroforestry systems, soil's quality, amazonian native species “paricá”.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Distribuição temporal dos componentes dos sistemas no campo experimental Tramontina Belém S.A. Aurora do Pará, 2007. ....	59
<b>Tabela 2</b> - Sequências dos oligonucleotídeos iniciadores internos para amplificação do gene. ....	68
<b>Tabela 3</b> - Espécies de bactérias encontradas na profundidade 0-10 cm do solo sob os diferentes tratamentos. ....	101
<b>Tabela 4</b> - Relação de fitopatógenos onde rizobactérias do gênero <i>Pseudomonas</i> têm sido utilizadas como agentes de controle. ....	103
<b>Tabela 5</b> - Rizobactérias produtoras de RCPs e seus derivados ....	104
<b>Tabela 6</b> - Gêneros de fungos predominantes nos solos sob os tratamentos investigados. ....	106

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Organização do operon do rRNA ribossômico .....	52
<b>Figura 2</b> – Capacidade relativa de resolução dos métodos moleculares .....	54
<b>Figura 3</b> – Croqui de acesso ao campo experimental da empresa Tramontina Belém S.A.....	55
<b>Figura 4</b> – Mapa de localização do campo experimental da empresa Tramontina Belém S.A no município de Aurora do Pará (PA).....	56
<b>Figura 5</b> – Aspecto dos tratamentos por ocasião das amostragens do solo.Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA), 2007. ....	58
<b>Figura 6</b> – Tratamento 01: Curauá solteiro a pleno sol .....	59
<b>Figura 7</b> – Tratamento 02: Paricá Solteiro .....	59
<b>Figura 8</b> – Tratamento 03: Paricá, Curauá, Freijó e Mogno.....	60
<b>Figura 9</b> – Tratamento 04: Paricá e Curauá.....	60
<b>Figura 10</b> – Aspecto de perfil aberto para a amostragem dos solos. ....	60
<b>Figura 11</b> – Gel de agarose da quantificação do DNA total das amostras de solos na profundidade 10 cm dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, extraídos com o Kit PowerSoil DNA. ....	66
<b>Figura 12</b> – DNA resultante da amplificação por PCR do gene 16S rRNA.....	67
<b>Figura 13</b> – Teor de argila, silte, areia fina e areia grossa nos solos sob os tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância...	71
<b>Figura 14</b> – Efeito da profundidade de amostragem no teor de argila, silte e areia grossa em solos sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina em Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. ....	72
<b>Figura 15</b> – Valor da densidade de partícula (Dpart) e densidade do solo (Dsolo), nos solos sob os tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra	

minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.....	73
<b>Figura 16</b> - Efeito da profundidade de amostragem no valor da densidade do solo (Dsolo) em solos sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina em Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. ....	74
<b>Figura 17</b> - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos sobre o pH e a matéria orgânica (MO) dos solos. Campo experimental da Tramontina em Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância...	75
<b>Figura 18</b> – Efeito da profundidade de amostragem no teor de matéria orgânica no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará(PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. ....	76
<b>Figura 19</b> – Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos sobre o teor dos cátions $K^+$ , $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions(T) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.....	79
<b>Figura 20</b> - Efeito da profundidade de amostragem no teor dos cátions $K^+$ , $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (T) no solo sob os tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.....	80
<b>Figura 21</b> - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos sobre saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. ....	81

- Figura 22** - Efeito da profundidade de amostragem no valor de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância... 82
- Figura 23** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos no teor de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (Nt) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. .... 83
- Figura 24** - Efeito da profundidade de amostragem no teor de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (Nt) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. .... 84
- Figura 25** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos no carbono da biomassa microbiana (CBM) e no nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância... 86
- Figura 26** - Efeito da profundidade de amostragem no carbono da biomassa microbiana (CBM) e no nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município da Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. .... 87
- Figura 27** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos na relação CBM:CO ( $q_{MIC}$ ) e na relação NBM:Nt no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. .... 89
- Figura 28** - Efeito da profundidade de amostragem na relação CBM:CO ( $q_{MIC}$ ) e na relação NBM:Nt no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA).

	Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.....	90
<b>Figura 29</b>	- Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos na atividade microbiana (CO <sub>2</sub> ) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.....	92
<b>Figura 30</b>	- Efeito da profundidade de amostragem na atividade microbiana (CO <sub>2</sub> ) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. ....	93
<b>Figura 31</b>	- Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos no quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.....	94
<b>Figura 32</b>	- Efeito da profundidade de amostragem no quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará(PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. ....	95
<b>Figura 33</b>	- Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos na relação C/N microbiano no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.....	97
<b>Figura 34</b>	- Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos no número de bactérias e fungos no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.....	98
<b>Figura 35</b>	- Efeito da profundidade de amostragem no número de bactérias e fungos no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da	

Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância. ....	99
<b>Figura 36</b> – <i>Absidia sp.</i> .....	106
<b>Figura 37</b> – <i>Aspergillus sp.</i> .....	107
<b>Figura 38</b> – <i>Cladosporium sp.</i> .....	107
<b>Figura 39</b> – <i>Paecilomyces sp.</i> .....	108
<b>Figura 40</b> – <i>Penicillium sp.</i> .....	108
<b>Figura 41</b> – <i>Trichoderma sp.</i> .....	109

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
1.1	HIPÓTESE .....	22
1.2	OBJETIVO GERAL .....	22
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>24</b>
2.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	24
2.2	CAUSAS DE ALTERAÇÃO DOS SOLOS NA AMAZÔNIA .....	26
2.2.1	<b>Agricultura de derruba e queima</b> .....	<b>26</b>
2.2.2	<b>Pecuária</b> .....	<b>26</b>
2.2.3	<b>Extração de madeira</b> .....	<b>27</b>
2.3	RECUPERAÇÃO DO SOLO ATRAVÉS DA COBERTURA VEGETAL .....	28
2.3.1	<b>Monocultivos florestais</b> .....	<b>28</b>
2.3.2	<b>Sistemas agroflorestais</b> .....	<b>29</b>
2.3.3	<b>Capoeiras</b> .....	<b>31</b>
2.4	CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES COMPONENTES DOS SISTEMAS ESTUDADOS .....	32
2.4.1	<b>Características gerais da espécie paricá</b> .....	<b>32</b>
2.4.1.1	Classificação, descrição botânica .....	32
2.4.1.2	Aspectos morfológicos .....	32
2.4.1.3	Área de ocorrência .....	34
2.4.1.4	Aspectos da madeira e usos .....	35
2.4.2	<b>Características gerais da espécie curauá</b> .....	<b>35</b>
2.4.2.1	Classificação e descrição botânica .....	35
2.4.2.2	Aspectos morfológicos .....	36
2.4.2.3	Áreas de ocorrência .....	37
2.4.2.4	Usos e perspectivas .....	37
2.4.3	<b>Características do freijó</b> .....	<b>38</b>
2.4.3.1	Classificação e descrição botânica .....	38
2.4.3.2	Aspectos morfológicos .....	38
2.4.3.3	Área de ocorrência .....	39
2.4.3.4	Aspectos da madeira e usos .....	39
2.4.4	<b>Características gerais do mogno (<i>Swietenia macrophylla</i>, King)</b> .....	<b>39</b>
2.5	CONCEITO DE QUALIDADE DO SOLO .....	41
2.6	INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO .....	42

2.6.1	<b>Atividade microbiana (CO<sub>2</sub>).....</b>	<b>43</b>
2.6.2	<b>Biomassa microbiana (C e N) e quociente microbiano (qMIC) .....</b>	<b>44</b>
2.6.3	<b>Relação CBM: CO / NBM: N total e C/N.....</b>	<b>46</b>
2.6.4	<b>Contagens microbiológicas .....</b>	<b>46</b>
2.6.5	<b>Diversidade microbiana .....</b>	<b>47</b>
2.7	<b>FUNDAMENTOS DA UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS MOLECULARES NA IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES MICROBIANAS.....</b>	<b>49</b>
2.7.1	<b>Tecnologia do DNA recombinante.....</b>	<b>49</b>
2.7.2	<b>Reação de polimerase em cadeia (PCR) .....</b>	<b>50</b>
2.7.3	<b>Marcadores genéticos.....</b>	<b>50</b>
2.7.4	<b>Sequenciamento de DNA .....</b>	<b>51</b>
2.7.5	<b>Métodos para o estudo da diversidade microbiana.....</b>	<b>51</b>
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>55</b>
3.1	<b>LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....</b>	<b>55</b>
3.2	<b>PREPARO DA ÁREA PARA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO .....</b>	<b>56</b>
3.3	<b>TRATOS CULTURAIS .....</b>	<b>57</b>
3.4	<b>IMPLANTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS ESTUDADOS .....</b>	<b>57</b>
3.5	<b>COLETA DAS AMOSTRAS .....</b>	<b>60</b>
3.6	<b>PARÂMETROS ANALISADOS .....</b>	<b>61</b>
3.6.1	<b>Determinação das variáveis microbiológicas.....</b>	<b>61</b>
3.6.2	<b>Determinação das variáveis químicas .....</b>	<b>61</b>
3.6.3	<b>Determinações das variáveis físicas .....</b>	<b>61</b>
3.7	<b>METODOLOGIA UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS.....</b>	<b>62</b>
3.7.1	<b>Atividade respiratória dos microrganismos do solo.....</b>	<b>62</b>
3.7.2	<b>Avaliação do C e N da biomassa microbiana.....</b>	<b>63</b>
3.7.3	<b>Quantificação de bactérias e fungos .....</b>	<b>64</b>
3.7.4	<b>Identificação de fungos .....</b>	<b>64</b>
3.7.5	<b>Identificação de espécies bacterianas por métodos moleculares.....</b>	<b>64</b>
3.7.5.1	Extração do DNA total do solo .....	64
3.7.5.2	AAA A mmmmb .....	66
3.7.5.2	Amplificação do gene que codifica para o 16S rRNA .....	66
3.7.5.3	Purificação do DNA .....	67

3.7.5.4	Sequenciamento do gene 16s rRNA.....	68
3.7.5.5	Processamento e análise filogenética das seqüências obtidas.....	69
3.8	<b>METODOLOGIA UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS .....</b>	<b>69</b>
3.9	<b>METODOLOGIA UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS .....</b>	<b>70</b>
3.10	<b>METODOLOGIA ESTATÍSTICA .....</b>	<b>70</b>
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>71</b>
4.1	<b>INDICADORES FÍSICOS .....</b>	<b>71</b>
4.2	<b>INDICADORES QUÍMICOS .....</b>	<b>74</b>
4.3	<b>INDICADORES MICROBIOLÓGICOS .....</b>	<b>85</b>
4.3.1	<b>Carbono da biomassa microbiana (CBM) .....</b>	<b>85</b>
4.3.2	<b>Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) .....</b>	<b>85</b>
4.3.3	<b>Relação Carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico (CBM:C).....</b>	<b>88</b>
4.3.4	<b>Relação Nitrogênio da biomassa microbiana/nitrogênio total (NBM:N).....</b>	<b>89</b>
4.3.5	<b>Atividade microbiana (CO<sub>2</sub>).....</b>	<b>91</b>
4.3.6	<b>Quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) .....</b>	<b>93</b>
4.3.7	<b>Relação C/N microbiano .....</b>	<b>96</b>
4.3.8	<b>Contagens microbiológicas .....</b>	<b>97</b>
4.3.9	<b>Diversidade microbiana .....</b>	<b>100</b>
4.3.9.1	Bactérias .....	100
4.3.9.1.1	<i>Mecanismos de ação das rizobactérias.....</i>	<i>102</i>
4.3.9.2	Fungos .....	105
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>134</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>134</b>
	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>135</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O desmatamento intensivo e crescente da Amazônia tornou-se uma preocupação nacional e também internacional, pelos reflexos negativos que isso possa representar para a região. Após a retirada da cobertura vegetal, normalmente, essas áreas são preparadas pelo uso do fogo, e usadas na agricultura tradicional com cultivos de ciclo curtos, ou com pastagens para a criação de gado bovino. Com o tempo, as práticas incorretas de manejo do solo durante essas atividades, provocam o empobrecimento gradativo do mesmo, originando dessa forma, grandes áreas com solo improdutivo ou alterado. Em geral, esse processo tende a se acelerar devido à alta acidez e baixa fertilidade dos solos amazônicos, onde a ausência da vegetação potencializa os efeitos da erosão.

Existe na atualidade uma preocupação crescente na implantação de processos que visam a recuperação dessas áreas através da revegetação do solo pela utilização de diferentes sistemas de manejo. Entre as alternativas que vêm sendo praticadas, podem ser citados os monocultivos florestais (reflorestamentos), que utilizam espécies madeireiras nativas da região, os sistemas agroflorestais, que se caracterizam pelo cultivo em consórcio entre espécies arbóreas e culturas temporárias em uma mesma área, e ainda, os cultivos agrícolas anuais.

Seguindo essa tendência, a Empresa Tramontina Belém, objetivando a recuperação de áreas alteradas por pastagens, implantou um campo experimental no município de Aurora do Pará, onde foram introduzidos vários sistemas de cultivo combinando as espécies florestais paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* [Huber] Ducke), mogno (*Switenia macrophylla*, King), freijó (*Cordia goeldiana* Huber) e a espécie agrícola curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* L.B. Smith). O desenvolvimento desses sistemas tem mostrado que a interação entre as espécies foi bastante positivo, considerando o aumento significativo da biomassa vegetal observado. As espécies paricá e curauá, por serem características de regiões tropicais, vêm sendo amplamente cultivadas com o objetivo de recuperação de solos degradados, neste experimento estas espécies foram avaliadas por Cordeiro (2007), que evidenciou excelentes índices de rendimento e produtividade para as mesmas. Esse fato pode representar um indício da regeneração da capacidade produtiva desses solos, o que provavelmente pode estar relacionado com a melhoria de qualidade do mesmo.

Os sistemas de manejo e revegetação dos solos são considerados fatores decisivos para a melhoria da qualidade dos mesmos, e resgatar sua fertilidade e capacidade produtiva. Dentro de um contexto global, o interesse atual pela preservação da qualidade do

solo resulta da recente conscientização de que o solo representa um recurso tanto para a produção de alimentos e fibra quanto para o funcionamento global dos ecossistemas.(DORAN et al., 1996)

Qualidade do solo tem sido definida como “ a capacidade de um tipo específico de solo funcionar dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e animais, de manter ou aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana” (DORAN e PARKIN, 1994). Na avaliação da qualidade do solo, a determinação dos atributos biológicos representa um indicador potencial para o conhecimento da produtividade do mesmo. Para aferir os atributos biológicos do solo tem se utilizado cada vez mais as características microbiológicas como indicadores sensíveis das transformações bioquímicas que ocorrem no mesmo e afetam sua qualidade.

Dentre as várias justificativas para o uso de microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo, destacam-se a sua capacidade de responder rapidamente à mudanças no ambiente do solo derivadas de alterações no manejo e, o fato de que a atividade microbiana do solo reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e a transformação de nutrientes (KENNEDY e PAPENDICK, 1995).

Os microrganismos representam uma grande e dinâmica fonte de nutrientes em todos os ecossistemas e participam ativamente em processos benéficos como: a) a estruturação do solo; b) a fixação biológica de N; c) a solubilização de nutrientes para as plantas; d) a redução de patógenos e pragas de plantas; e) a degradação de compostos persistentes aplicados ao solo; f) formam associações micorrízicas que beneficiam o crescimento vegetal (KENNEDY e PAPENDICK, 1995).

Assim, um solo de alta qualidade possui intensa atividade biológica e contém populações microbianas equilibradas. Entre os indicadores microbiológicos que frequentemente são utilizados para fornecer uma estimativa da qualidade do solo estão a biomassa microbiana e quociente microbiano ( $qMIC$ ), taxa de respiração do solo e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e a diversidade microbiana.

A biomassa microbiana do solo é considerada como a parte viva da matéria orgânica do mesmo, além de armazenadora de nutrientes, pode servir como indicador rápido das mudanças no solo (GRISI, 1995). Sua avaliação fornece indicação sobre ciclagem, fonte e dreno de nutrientes por meio de processos de mineralização e imobilização (LUIZÃO et al., 1992). Por ser mais rapidamente quantificada quando comparada à avaliação direta da produtividade vegetal, a biomassa microbiana pode ter grande aplicação para o conhecimento

da qualidade do solo (SILVEIRA et al., 2004). Assim, mudanças significativas na BM podem ser detectadas muito antes que alterações na matéria orgânica possam ser percebidas, possibilitando a adoção de medidas de correção evitando que a perda da qualidade do solo seja mais severa (TOTOLA e CHAER, 2002).

O quociente microbiano ( $qMIC$ ) representa a relação entre o carbono microbiano (CM) e o orgânico (CO), e fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica presente no solo. De acordo com Sparling (1992), as mudanças no  $qMIC$  podem estar diretamente relacionados com os acréscimos de matéria orgânica ao solo, assim como a eficiência de conversão do CO do solo para CBM e as perdas de C do solo.

A taxa de respiração basal do solo consiste na medida de produção do  $CO_2$  resultante da atividade metabólica de microrganismos, de raízes vivas e outros organismos como minhocas, nematóides e insetos (PARKIN et al., 1996). Podendo ser um indicador sensível da decomposição de resíduos e do giro metabólico do carbono orgânico do solo (COS). (PAUL et al., 1999).

Uma outra variável, o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), representa a razão entre o  $CO_2$  evoluído e o pool de carbono da biomassa microbiana, e indica o estado metabólico dos microrganismos podendo ser utilizada como indicador de perturbação ou estabilidade do ecossistema (DePOLLI e GUERRA, 1997). Através dessa abordagem, tem sido demonstrado que a biomassa microbiana responde de maneira diferenciada aos manejos agrícolas adotados em cada agroecossistema (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002)

A diversidade microbiana tem figurado como importante indicador da qualidade do solo por representar um dos mais sensíveis atributos para documentar as mudanças ocorridas no ecossistema. As dificuldades iniciais encontradas para conhecer e interpretar a diversidade estrutural e funcional dos microrganismos do solo, estão sendo gradualmente superadas pelo uso crescente de ferramentas da biologia molecular. Os métodos baseados no estudo do DNA vêm sendo freqüentemente utilizados para estudar a estrutura genética das comunidades microbianas do solo, e assim possibilitando avaliar os impactos dos distúrbios ambientais sobre as mesmas (AXELROOD et al., 2002).

Diante dos conhecimentos atuais tem se tornado consenso que a diversidade microbiana possui importantes vantagens como indicador da qualidade do solo, em virtude de os microrganismos estarem na base da cadeia trófica e intrinsecamente associados aos processos ecológicos do solo (TORSVIK e ØREAS, 2002).

Considerando o bom desenvolvimento dos sistemas de cultivos implantados no campo experimental da Empresa Tramontina Belém no município de Aurora do Pará, o presente estudo avalia através de indicadores químicos e microbiológicos a melhoria da qualidade do solo nesses sistemas de cultivo que foram constituídos com as espécies paricá (*Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke), curauá (*Ananás erectifolius* L.B. Smith), mogno (*Switenia macrophylla*, King) e freijó (*Cordia goeldiana* Huber), e dessa forma possa contribuir para aumentar os conhecimentos sobre o crescimento e desenvolvimento de espécies plantadas em solos alterados da Amazônia.

### 1.1 HIPÓTESE

Os sistemas agroflorestais, que se caracterizam por serem formados de múltiplas espécies vegetais, representam atualmente uma importante alternativa para recuperação de solos degradados, devido a capacidade que os mesmos têm de produzir uma abundante e variada serapilheira, além de melhorar as condições edafoclimáticas, estimulando assim as atividades biológicas no solo. Diante disso, a hipótese deste trabalho é que, dentre os sistemas de cultivos avaliados neste estudo, os sistemas agroflorestais apresentem os melhores indicadores de regeneração da qualidade do solo.

### 1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade dos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos como indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de cultivo com as espécies paricá (*Schizolobium parahiba* var. *amazonicum* [HUBER ex DUCKE]), curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* L.B. SMITH), mogno (*Switenia macrophylla*, King) e freijó (*Cordia goeldiana* Huber).

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os parâmetros microbiológicos (Biomassa microbiana, contagens de de bactérias e fungos e atividade microbiana) nos solos sob os diferentes sistemas de cultivos;

- Quantificar os atributos químicos e físicos nos solos sob os sistemas de manejo experimentados;
- Identificar através de técnicas moleculares de DNA e de cultivos sobre substrato, as espécies microbianas predominantes nos solos em estudo; e
- Com base nos resultados obtidos, identificar o(s) sistema de cultivo(s) que melhor contribuíram para aumentar a qualidade do solo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Município de Aurora do Pará pertence à mesorregião do Nordeste Paraense, precisamente na Microrregião do Guamá, possuindo uma área de 1.811,83 Km<sup>2</sup> e limitando-se com os seguintes Municípios: Norte – São Domingos do Capim; Leste – Mãe do Rio e Capitão Poço; Sul – Ipixuna do Pará; Oeste – Tomé – Açú e São Domingos do Capim. A sede Municipal tem as seguintes coordenadas geográficas: 02° 08' 02" de latitude Sul e 47° 33' 32" de longitude Oeste de Greenwich, de acordo com os dados do INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE ( 2006).

Apresenta clima Megatérmico úmido, com temperatura média anual de 25° C, umidade relativa do ar elevada, em torno de 85% e índice pluviométrico de 2.350 mm anual (IBGE, 2006). As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano, sendo que no período de janeiro a junho ocorre a sua maior concentração (cerca de 80%). Os solos do município de Aurora do Pará são, predominantemente, o Latossolo Amarelo, textura média; Latossolo Amarelo, textura argilosa; e Concrecionário Laterítico. Nas áreas inundáveis, próximas ao Rio Capim, destaca-se a presença dos Solos Aluviais e Hidromórficos. Há também, Areia Quartzosa e Hidromórficos, em associações (IBGE, 2006).

O relevo apresenta-se inserido no planalto rebaixado do Amazonas. Estão presentes áreas aplainadas, várzeas e tabuleiros em áreas sedimentares. A vegetação é representada, principalmente, por capoeiras, em estado avançado de desenvolvimento, com árvores de pequeno porte e manchas de Mata Primitiva, bastante explorada (IBGE; GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ, 2006). A topografia, embora modesta, apresenta na sede municipal cerca de 50 metros de altitude, devido às formas de relevo existentes.

Nesse município, o grupo Tramontina Belém S.A iniciou o reflorestamento em área degradada em 1980 levando em consideração os aspectos da sustentabilidade ambiental, social e econômica. Na região escolhida, a área original apresentava floresta densa representada pelas espécies como: anelím (*Hymenolobium* sp) e abiorana (*Franchetella* sp), breu (*Protium* sp), copaíba (*Copaifera* ssp), marupá (*Simaruba amara*) (BRASIL, 1973).

Devido ao processo de ocupação iniciado no final da década de 70, quando da abertura da Belém-Brasília, a vegetação original foi sendo gradativamente substituída. Os trabalhadores dedicaram-se a exploração da madeira, a agricultura de corte e queima e ao

cultivo de algodão e malva. Em 1960, em virtude do roçado não ter dado resultados positivos, muitos colonos abandonaram a região. Posteriormente com a penetração da colônia japonesa (entre as décadas de 70 e 80) oriunda de Tomé-Açu, houve a expansão do plantio de pimenta-do-reino.

A decadência da atividade agrícola levou os agricultores a abandonar as glebas e a opção foi à pecuária, porém os pastos sofreram com ataque de pragas e ficaram cada vez mais improdutivos e, hoje, se encontram em declínio. O resultado foi um impacto negativo, tanto para o ponto de vista ambiental, como do sócio-econômico. Tal fato levou a Tramontina Belém S.A a implantar e desenvolver um projeto com características especiais e particulares, pois queria dar ao sistema produtivo um grande alcance ambiental e social (TEREZO, 2005).

Atualmente a propriedade abrange 1.043 hectares e apresenta diferentes sistemas de plantios com espécies florestais e agrônômicas. Para aumentar a variabilidade genética do plantio florestal e, com isso, garantir a conservação genética do povoamento foi efetuado plantio misto com espécies nativas com boas taxas de sobrevivência, tais como: Ipê (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols), Freijó (*Cordia goeldiana* Huber), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Mogno (*Swietenia macrophylla* King) e paricá (*Schizolobium* var. *amazonicum*).

De modo a se manter ao máximo a proteção ao solo, nas áreas com regeneração da vegetação o plantio foi em linhas, formando assim, corredor ecológico utilizado como procedimento pode aumentar a deposição de sementes dispersadas por aves e assim, acelerar a regeneração. Como forma de maximizar o uso da área e minimizar os custos de implantação do empreendimento espécies agrônômicas como macaxeira (*Manihot esculenta* Crantz), melancia (*Citrullus vulgaris* Schrad), Milho (*Zea mays* L) feijão caupi (*Visgna unguiculata* L.) e ultimamente o cuaruá vem sendo plantadas nas entrelinhas do plantio florestal.

A Empresa Tramontina Belém desde 1992 mantém a Estação Experimental de Aurora do Pará, onde já estão plantados 1.000 ha, que foram submetidos à diferentes tipos de plantio. Nessa área vários trabalhos estão sendo desenvolvidos com instituições científicas entre estas UFRA, EMBRAPA, Universidade de São Carlos, Universidade do Estado do Pará-UEPA e Museu Paraense Emílio Goeldi- MPEG. Estudantes de graduação, mestrado e doutorado ligados a essas instituições vêm desenvolvendo suas atividades de pesquisa nessa área.

O campo experimental tem uma área de 1.043 ha e está situado entre as coordenadas 2° 10'00" latitude sul e longitude 47° 32'00" e seu acesso principal é feito pela BR 010, distante em linha reta 210 Km da cidade de Belém, capital do Estado do Pará.

## 2.2 Causas de alteração dos solos na Amazônia

### 2.2.1 Agricultura de derruba e queima

Este sistema é praticado pela grande maioria dos agricultores familiares da Amazônia, por ser simples e de fácil operação, de conservar a fertilidade natural do solo pela adição de cinzas, promover a correção da acidez do solo, pela supressão de plantas invasoras e, controlar pragas e doenças (NYE e GREELAND, 1960).

Apesar dos efeitos benéficos deste sistema no preparo da terra para o plantio, Mackensen et al, (1996) verificaram que durante o processo de queima em uma capoeira de aproximadamente 7 anos de vida ocorreram perdas de aproximadamente 96% de nitrogênio, 76% de enxofre, 47% de fósforo, 48% de potássio, 35% de cálcio e 40% de magnésio.

Estas perdas associadas á intensificação destes sistemas com a redução dos períodos de pousio e repetidas capinas para controle das plantas espontâneas, aliadas às estratégias de manejo dos agricultores, na remoção dos resíduos orgânicos, provoca a deterioração das propriedades do solo que refletem negativamente na produtividade das plantas (TIESEN et al., 1994).

### 2.2.2 Pecuária

No final da década de 60, com o advento da Lei de Incentivos Fiscais, o desmatamento na Amazônia teve maior incremento e consideráveis extensões de terra foram deflorestadas no Pará para ceder lugar ao estabelecimento de pastagens pelas fazendas de pecuária bovina que foram implantadas na região (FALESI, 1976).

Com o decorrer do tempo essas áreas de pastagem sofreram um processo de declínio de produtividade, alcançando o estágio de degradação e conseqüente invasão de plantas indesejáveis (DUTRA et al., 2000).

O uso do fogo para o controle das ervas daninhas pode ser um dos fatores que podem agravar a degradação das pastagens nas regiões tropicais. Esse procedimento aliado às práticas inadequadas de manejo, como o pastejo prematuro nas áreas recém queimadas

concorrem para a degradação química física e biológica do solo em função do aumento da erosão e compactação e das perdas de nutrientes e matéria orgânica desse solo (DIAS, 2003).

Em estudos realizados com pastagens na região de Marabá.PA, Muller et al, (2001) constataram que a degradação da pastagem reduziu a cobertura do solo e a exposição à chuva e ao pisoteio do gado, resultou no aumento da densidade do solo e diminuição da flocculação da argila e da porosidade total.

### 2.2.3 **Extração de madeira**

Desde o início da colonização, a extração de madeiras na Amazônia era praticada em pequena escala, principalmente por comunidades ribeirinhas. Entretanto, a construção de rodovias e a exaustão das florestas do Sul e Sudeste do Brasil aliados ao esgotamento progressivo das florestas tropicais da Ásia responsáveis por 70% do comércio internacional de madeira de acordo com Nectoux e Kuroda (1989), provocaram a instalação de indústrias madeireiras na região.

No começo dos anos 70, apenas as espécies de alto valor econômico eram extraídas e os impactos na floresta eram reduzidos. Atualmente mais de cem espécies de árvores são extraídas e tratores de esteira abrem caminho através da floresta e arrastam as toras até os pátios de armazenamento. Essa forma de exploração intensiva da madeira altera significativamente a cobertura vegetal tornando-se potencialmente destrutiva (VERÍSSIMO et al., 1996).

Geralmente, a exploração da madeira inicia o processo de degradação e uma única área pode ser submetida a vários eventos de extração. Os madeireiros inicialmente exploram as árvores maiores e de maior valor econômico. Depois, eles retornam duas ou três vezes para explorar árvores menores de espécies mais valiosas. Em regiões de exploração intensiva como em alguns municípios do Nordeste do Pará, trinta árvores com diâmetro à 1,30 m do nível do solo maiores ou iguais a 10 cm ficam danificadas para cada árvore extraída, provocando uma perda de 40 a 47% do dossel e uma abertura média de 663 m<sup>2</sup> por árvore extraída (UHL et al., 1991).

As florestas exploradas são mais susceptíveis a incêndios por causa do acúmulo de resíduos vegetais e maior incidência da radiação solar nas clareiras (HOLDSWORTH e UHL, 1997). E podem ocorrer em várias intensidades e etapas destruindo ou danificando de 10 a 80% da biomassa remanescente (NEPSTAD et al., 1999).

As atividades madeireiras e agropecuárias realizadas principalmente nos últimos trinta anos, são responsáveis por grande parte dos desmatamentos na floresta Amazônica. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ( INPE, 2005), já foram devastadas cerca de mil quilômetros quadrados da floresta, o que equivale a 13,7% da mata. Desse total, 200 mil quilômetros foram abandonados pelos exploradores assim que os recursos naturais se esgotaram. Resultando grandes extensões de áreas sem cobertura vegetal onde o solo sofre progressivos processos de degradação (<http://comciencia.br/reportagens/amazonia/amaz14.htm>, acesso em 26/11/2007 ).

## 2.3 RECUPERAÇÃO DO SOLO ATRAVÉS DA COBERTURA VEGETAL

### 2.3.1 Monocultivos florestais

No Brasil o setor florestal está se desenvolvendo rápido, estimulado pela demanda interna e externa. E a perspectiva de expansão do mercado para produtos madeireiros indicam um crescimento anual de 3 a 4%, estimando-se que até o ano 2010 o déficit será de 880 milhões de metros cúbicos (SANTIN, 2007). O déficit de matéria-prima florestal aliado às características ambientais, como a proteção dos solos degradados, contenção de erosão e o assoreamento dos cursos de águas, além de se caracterizarem como culturas de ciclo longo e com poucas intervenções, torna a silvicultura um dos setores da agricultura mais propícios a receber investimentos (SEAG, 2007).

A silvicultura caracterizada pelos monocultivos florestais, integra valores ambientais como a melhoria das propriedades do solo e sobretudo contribui para promover a regulação do equilíbrio climático e reduzir a pressão sobre os remanescentes florestais nativos. (SEAG, 2007).

No estado do Pará, empresários rurais em atendimento à reposição florestal obrigatória (BRASIL,1996) têm implantado projetos de reflorestamento adotando cultivos puros ou consorciados onde são utilizadas espécies nativas e/ou exóticas. Na mesorregião nordeste paraense, os projetos de reposição florestal até 1997, ocupavam uma área de 34.864 ha (GALEÃO, 2000).

Entre as espécies adotadas o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Duck) destaca-se como sendo a mais cultivada, provavelmente por pertencer a flora amazônica, ocorrendo nos maciços paraenses, e também pelo rápido crescimento, facilidade

de obtenção das sementes e custo de implantação satisfatório durante os quatro primeiros anos (GALEÃO, 2000).

Em recente amostragem efetuada entre nove empresas reflorestadoras localizadas nessa mesorregião que cultivam tanto espécies nativas quanto exóticas, verificou-se a preferência pelo cultivo do paricá com um total aproximado de 7.400.000 árvores. Em seguida a teca 584.716 árvores, e o freijó com 317.814 árvores (FALESI et al., 2004).

### 2.3.2 Sistemas agroflorestais

As definições de SAFs referem-se a uma ampla variedade de formas de uso do solo que combinam o plantio de espécies arbóreas lenhosas (frutíferas e/ou madeiras) com cultivos agrícolas e/ou animais, de forma simultânea ou em sequência temporal e que interagem econômica e ecologicamente (NAIR, 1989).

O objetivo desses sistemas é a criação de diferentes estratos vegetais procurando imitar um bosque natural, onde as árvores e/ou arbustos originam um microclima que resulta em benefícios ambientais, entre estes destacam-se o melhor controle da temperatura, da umidade relativa do ar e da umidade do solo (FASSBENDER e HEUVELDOP, 1985).

A modificação do microclima, na presença do componente arbóreo, repercute sobre o balanço hídrico do solo, contribuindo para a elevação da umidade disponível para as plantas sob a copa das árvores (VAZ da SILVA, 2002). Esse acréscimo de umidade nos solos sob coberturas vegetais são atribuídos à redução de radiação que chega ao solo, o que influi significativamente na taxa de evaporação da água contribuindo para a manutenção da concentração hídrica do solo (RIBASKI et al., 2002).

Nos SAFs, a sombra produzida pelas árvores é um dos fatores responsáveis pelo aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo e, evidências segundo (Aranguren et al, 1982) mostram que a taxa de mineralização é estimulada pelo sombreamento. De acordo com Mafongoya et al (1997), a melhoria do ambiente do solo torna a atividade microbiana mais efetiva na decomposição dos resíduos orgânicos, resultando uma maior liberação de nitrogênio mineralizado.

Adicionalmente aos benefícios do sombreamento, as espécies que compõem esses sistemas exploram diferentes camadas de solo, e as raízes profundas das árvores podem interceptar os nutrientes que foram lixiviados das camadas superficiais e se acumulam no

subsolo, geralmente fora do alcance dos sistemas radiculares das culturas agrícolas, e incorporando-os novamente no processo de ciclagem (YONG, 1989).

Um sistema com vários componentes arbóreos tem potencialmente maior capacidade para reciclar de maneira mais uniforme ao longo o tempo, sem comprometer a capacidade produtiva do sítio (MAFONGOYA et al., 1997). Assim, em plantios heterogêneos há uma taxa mais constante de produção de folheto e, conseqüentemente, uma contínua decomposição do mesmo, aumentando não somente a disponibilidade de nutrientes, como também a matéria orgânica do solo, o que beneficia a atividade mineralizadora da microbiota do solo (GAMA RODRIGUES e DePOLLI, 2000).

Entre as opções de coberturas vegetais para recuperação de áreas alteradas, os sistemas agroflorestais têm sido indicados, numa tentativa de reproduzir florestas (ALVIM, 1991). Pelo fato da estrutura desses agroecossistemas oferecerem condições de controlar a erosão, melhorar a estrutura do solo, equilibrar atividade dos microrganismos propiciando o retorno da fauna (SMITH, 1998).

Neste contexto, os sistemas agroflorestais podem se constituir em uma alternativa em potencial para tornar produtivas áreas degradadas, melhorando sua função social e ecológica (FALESI e GALEÃO, 2004).

Na Amazônia vêm sendo realizados estudos sobre a utilização de SAFs na recuperação de solos degradados com resultados satisfatórios. Perin et al(2000), com base em resultados preliminares de análise química do solo, verificou que a implantação de quatro diferentes formulações de sistemas agroflorestais em áreas de pastagens degradadas oferecem alternativas ecológicas e econômicas adequadas para recuperação dessas áreas em Latossolo Amarelo argiloso de terra firme da Amazônia ocidental.

Utilizando a biota do solo como indicador em modelos agroflorestais, constatou-se que esses sistemas contribuem para a recuperação dos solos degradados por pastagens de forma mais rápida e eficiente do que a regeneração natural, observando-se também uma relação positiva entre densidade, porosidade total e umidade do solo, sugerindo o papel da macrofauna como um forte componente de sistemas agroflorestais (LOCATELLI et al., 2005).

### 2.3.3 Capoeiras

Capoeira representa a vegetação secundária que surge espontaneamente a partir do abandono da área utilizada após o desenvolvimento de atividades como agricultura itinerante e pecuária. Estima-se que 53% da área total da microrregião Bragantina teve sua floresta nativa removida e está coberta por este tipo de vegetação (ALENCAR et al., 1996).

Estudos realizados nas últimas décadas por Hedden-Dunkhorst et al, (2003), comprovaram a importância do papel da capoeira nos aspectos ambientais e sócio-econômicos, como componentes do sistema rotacional de uso da terra adotado por grande parte dos agricultores da Amazônia, em especial do nordeste do Pará.

Para a agricultura familiar na Amazônia, a presença das florestas secundárias, nas diversas fases de seu desenvolvimento, são de fundamental valor pelas inúmeras funções benéficas que proporcionam (SOMMER, 2000). Entre estas, a acumulação e reciclagem de nutrientes de camadas profundas do solo citada por Nye e Greeland (1960), o controle de erosão por MacDonald et al (2002), a supressão de plantas invasoras por Rouw (1995), suprimento de madeira e lenha, e manutenção da biodiversidade (SANCHEZ, 1995).

A diversidade florística, ainda, encontrada nas vegetações secundárias abriga um considerável número de espécies com diferentes capacidades de acumular nutrientes essenciais que podem servir para sustentar as plantas na fase de cultivo agrícola (DENNICH, 1991).

A acumulação de serapilheira (*litter*) formada pelas espécies da capoeira discutida por Cattânio (2002), influenciam a disponibilidade de matéria orgânica, já que a composição deste material influi na diversidade e na concentração da mesofauna do solo e igualmente em processos por ela mediados (DENNICH, 1991)

O manejo deste tipo florestal constitui-se uma forma relativamente nova de uso alternativo da terra, já existindo exemplos bem sucedidos de manejo de florestas secundárias na Costa Rica (FINEGAN, 1992).

Estudos recentes têm apontado uma técnica de melhoria da capoeira através da introdução de árvores de rápido crescimento de forma a acelerar o acúmulo de biomassa e nutrientes num menor período de tempo (DENNICH et al., 2004). Essa técnica proporciona a redução do período de pousio de 4-10 anos para 2 anos (BRIENZA JUNIOR, 1999).

No plantio de árvores de rápido crescimento é recomendado um espaçamento mínimo de 2 x 2 afim de não comprometer a regeneração das espécies naturais da capoeira,

garantindo assim, a manutenção da biodiversidade da vegetação nativa (VIELHAUER e SÁ, 2000)

## 2.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES COMPONENTES DOS SISTEMAS ESTUDADOS

### 2.4.1 Características gerais da espécie paricá

#### 2.4.1.1 Classificação, descrição botânica

**Classe:** Dicotiledonea

**Família:** Fabaceae (Leguminosae)

**Sub-família:** Caesalpinoideae

**Nome científico:** *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (BARNEBY, R.C. Neotropical Fabales at NY: asides and oversights. *Brittonia*. V. 48, n. 2, p.174-187, 1996).

**Sinonímias:** *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke *Schizolobium excelsum* var. *amazonicum* Ducke ex. L. O Williams

**Vernáculos:** Bacurubu, bandarra, birosca, caixeta, faveira, faveira-branca, ficheiro, flexeiro, guapuruva, guapuruvu, paricá, paricá-grande, pinho-cuiabano, pinho-cuiabano-rosa (CAMARGOS et al., 2001).

Conforme Barneby (1996), o *S. parahyba* var. *amazonicum* distingue-se do *S. parahyba* var. *parahyba* por florescer sem folhas, apresentar folhas e frutos duas vezes menores, pelas pétalas oblongas mais firmes e glabras e pelos pedicelos articulados.

#### 2.4.1.2 Aspectos morfológicos

a) **Hábito:** Árvore caducifólia de grande porte, fuste reto e crescimento muito rápido, ocorrendo em floresta primária e secundária de terra firme. Em geral mede de 15-40 m de altura e 50-100 cm com diâmetro a altura do peito (DAP). É uma espécie essencialmente heliófila, demandando bastante luz para um rápido crescimento.

b) *Copa*: Possui ramificação cimosa. Nos primeiros anos de crescimento a copa não tem ramificação lateral, porém quando adulta apresenta copa ampla e umbeliforme com ramos laterais horizontais dispersos, o que possibilita passar bastante sol pelas suas folhagens.

c) *Casca* : quando a planta é jovem apresenta-se esverdeada e delgada, tornando-se mais tarde acinzentada esbranquiçada, espessa, dura, rugosa e com carreiras verticais de lenticelas; ao corte tem odor desagradável almiscarado.

d) *Tronco* : caule/fuste reto e cilíndrico, com pouca tortuosidade apresentando sapopemas na sua base.

e) *Folha* : Folha alterna, composta bipinada, chegando a medir até 2 m de comprimento em indivíduos jovens e em indivíduos adultos diminuem consideravelmente de tamanho, variando entre 30-50 cm; ráquis lenhosa; 6-15 pares de pinas; 12-20 pares de folíolos, opostos; quando perturbados os folíolos se fecham.

f) *Flor* : As flores são dispostas em inflorescência do tipo panícula ascendentes a acropetalas; são hermafroditas, zigomorfas, pequenas, perfumadas com coloração amarela; as pétalas são amarelas, glabras e oblongas; com cálice receptáculo com coloração creme-esverdeada, tubular na base; corola imbricada de cinco pétalas, com a margem levemente ondulada e espatulada na parte superior.

g) *Fruto* : É um legume deiscente (criptosâmara), oblongo-achatado. Apresenta asa papirácea, com coloração bege quando jovem e marrom quando maduro. Cada fruto apresenta apenas uma semente na posição apical envolta pelo meso-endocarpo alado.

h) *Semente*: É elíptico-ovada, lateralmente achatada, ápice agudo, base arredondada; o tegumento liso, duro e brilhante, com coloração castanha e estrias finas; o hilo é punctiforme; a rafe é linear; o endosperma é abundante.

i) *Fenologia*: O início dos eventos reprodutivos ocorre entre 8 e 10 anos, em áreas abertas e plantios, e aos 12 anos, na floresta. É uma planta hermafrodita cuja polinização é realizada principalmente pelas abelhas Anthophoridae (*Xylocopa* Spp e *Centris* spp) e algumas Apidae (*Melipona* spp e *Apis mellifera*) (VENTURIERI, 2000). Floresce em estado afilo destacando-se na mata pela coloração amarela clara (DUCKE, 1939). No Pará, a floração ocorre nos meses de maio, junho e agosto. A frutificação é anual no período de setembro a novembro com dispersão anemocórica. Apresenta curta longevidade, variando de 20 a 40 anos se comparada com outras espécies da floresta primária (VENTURIERI, 1999).

j) *Germinação* : A germinação é epígia criptocolinedonar. A plântula apresenta hipocótilo cilíndrico, verde-claro e semibrilhante; os cotilédones foliáceos são opostos, com ápice arredondado, base sagitada e duas estípulas; o epicótilo é cilíndrico, verde e brilhante; o

primeiro par de folhas é oposto e paripinado, com 10-12 pares de folíolos opostos, verdes, membranáceos, oblongos, ápice apiculado e base arredondada, margem ciliada e puberulentos em ambas as faces; o pecíolo e a raque são canaliculados e recobertos por tricomas simples e hialinos (COSTA, et al., 1999).

l) *Fitossanidade*: Embora a planta seja razoavelmente imune ao ataque de pragas e doenças, algumas pragas foram verificadas em viveiro e plantios. Teixeira e Bianchetti, (1997) verificaram em viveiro a presença de lagartas (*Agrotis spp*, *Spodoptera spp* - Lepdoptera: Noctuidae, *Ealsmopalpus lignoselus* – Lepdoptera: Phycitidae); Paquinha (*Neoccurtilla hexadactylla* – Orthoptera: Gryllotalpidae); Grilos (*Gryllus assimilis* – Orthoptera; Gryllidae); Saúva (*Atta spp.* – Hymenoptera: Formicidae); Formiga quenquém (*Acromyrmex spp.* - Hymenoptera: Formicidae) e no plantio registraram a presença da broca-da-madeira (*Acanthoderes jaspidea*) e mosca-da-madeira (*Rhaphiorhynchus pictus*). No período chuvoso nos plantios jovens, pode ocorrer a incidência da crosta-negra-das folhas (*Phyllachora schizolobiicola* subsp. *schizolobiicola*)(TRINDADE et al., 1999). Esses mesmos autores registraram ainda a ocorrência de coleobroca (*Micrapate brasiliensis*) e serradores (*Oncideres dejeani* e *O. saga*) nos ramos. A presença da cigarra (*Quesada gigas* Olivier) nas raízes e tronco foi verificada por Zanuncio et al (2004), em plantações de paricá nas cidades de Paragominas (PA) e Itinga (MA).

#### 2.4.1.3 Área de ocorrência

O *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* apresenta ampla distribuição geográfica em altitudes de até 800m. Ocorre na Amazônia brasileira, venezuelana, colombiana, peruana, boliviana e equatoriana e toda a América Central. No Brasil, a espécie é encontrada nos estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre, ocorrendo também na mata atlântica (Santa Catarina a Bahia).

No Estado do Pará a espécie ocorre em Altamira, Monte Alegre, Óbidos e Trombetas. No Amazonas, freqüente na mata da várzea do baixo rio Madeira e do Solimões, até a fronteira do Peru (DUCKE, 1939). A presença da espécie foi registrada no município de Machadinho D' oeste (RO) e no Acre.

É uma árvore natural de florestas primária e secundária tanto em solos de terra firme como em várzea alta (DUCKE, 1939; PEREIRA et al., 1982). Fora de sua área de distribuição, o paricá foi introduzido na Costa Rica, Fiji, Indonésia, Kenya, Sr Lanka e

Estados Unidos, segundo o INTERNATIONAL CENTER OF RESEARCH IN AGROFORESTRY (ICRAF, 2006).

#### 2.4.1.4 Aspectos da madeira e usos

A madeira de paricá é branca, mole, leve segundo Ducke (1939); com densidade básica média de 0,30g/cm<sup>3</sup>, e textura grossa, grã direita a irregular; cerne creme-avermelhado e alburno creme claro; o comprimento e largura da fibra variam. O conjunto destas características é determinante para na fabricação de forros, palitos, fósforos, canoas, miolo de painéis e portas, laminados, compensados bem como, para formas de concreto, embalagens leves, saltos de calçados, brinquedos e maquetes (CARPANEZZI, 1983).

Melo (1983), após realizar análise química das estruturas da madeira, indicou a espécie como fornecedora de matéria-prima para obtenção de celulose para papel, pois a mesma possui fácil branqueamento. Seu processamento é fácil e recebe bom acabamento, mas possui baixa durabilidade natural, sendo susceptível ao ataque de fungos, cupins e insetos xilófagos.

A árvore é indicada para plantios comerciais, sistemas agro-florestais, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, devido ao seu rápido crescimento e ao bom desempenho tanto em formações homogêneas quanto em consórcios. Por sua arquitetura e floração vistosa, pode ser empregada em arborização de praças e jardins amplos. A casca pode servir para curtume e as folhas são usadas como febrífugo por algumas etnias indígenas.

### 2.4.2 Características gerais da espécie curauá

#### 2.4.2.1 Classificação e descrição botânica

**Classe:** Monocotiledônea

**Família:** Bromeliaceae

**Sub-família:** Bromelioideae

**Nome Científico:** *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens & Leal (Morphology, anatomy and taxonomy, In: The pineapple: botany, production and uses. Wallingford UK and New York USA. 2003b).

**Sinonímias:** *Ananas erectifolius* L.B.Smith; *Ananas lucidis* Mill

**Vernáculos:** Curauá, curauá-da-amazônia, abacaxi ornamental, abacaxi selvagem

Conforme Ledo (1967), há dois tipos distintos de curauá: roxo e branco. O curauá roxo distingue-se do branco por apresentar coloração das folhas roxo-avermelhadas e por apresentar maior desenvolvimento.

#### 2.4.2.2 Aspectos morfológicos

*a) Hábito:* O curauá é uma planta terrestre herbácea, rizomatosa, de sistema radicular fasciculado, superficial, pouco exigente e que se adapta a diferentes tipos de solo e a mudanças climáticas.

*b) Flor:* No caso de *Ananas*, as flores são hermafroditas, trímeras, actino ou zigomorfas, heteroclamídeas, com sépalas coriáceas e pétalas vivamente coloridas. Androceu com 6 estames, em 2 séries de 3. Ovário súpero ou ínfero, trilocular e multiovulado. Inflorescências com brácteas coloridas. A planta é monóica com flores hermafroditas e a inflorescência é composta por várias flores individuais que nascem formando inflorescência compacta em forma de espiga sobre um talo axial curto e robusto (WIKIPEDIA FOUNDATION-WF, 2006).

*c) Folha:* Apresentam folhas eretas, coriáceas, medindo cerca de 5 cm de largura, 5 mm de espessura, aproximadamente 1,5 m de comprimento; bordos lisos e escapo alongado, ápice provido de pequeno acúleo terminal; fornece fibra de excelente qualidade e mucilagem. Entre as bainhas das folhas, ou diretamente dos rizomas, brotam rebentos. Em geral apresenta uma dilatação na base, em forma de concha, formando um reservatório de água de chuva, orvalho (LEDO, 1967; WF, 2006).

*d) Mudás :* As mudas são obtidas a partir de: 1- rebento: brotação originada do caule; 2- filhote: brotação da parte superior do fruto, circundando a coroa; 3- coroa: estrutura que se forma no ápice do fruto, seu caule constitui-se um prolongamento do pedúnculo; 4 – laboratório: pelo processo de micropropagação (BORGES et al., 2003).

*e) Fruto:* O fruto se forma a partir do talo axial engrossado com as sépalas se desenvolvendo na hasta, numa fusão temporária com as adjacências em sincarpo ou infrutescência, formando os frutos verdadeiros de forma ovóide. È semelhante em aspecto e gosto ao abacaxi, porém de tamanho reduzido pequeno e mais fibroso e ácido.

*f) Fenologia:* O início dos eventos reprodutivos ocorre a partir do 1º ano. A polinização é realizada principalmente pelos colibris. O período de floração dura um mês e logo após, as pétalas desprendem-se, mas as sépalas são persistentes e tornam-se carnosas e

junto com o ovário e os eixos florais também carnosos formam uma estrutura única que é o fruto (WF, 2006).

g) *Fitossanidade*: No curauá o ataque de cochonilha (*Dysmicoccus brevipes* Homóptera: pseudococcidae), ocorre na axila das folhas, como também no sistema radicular das plantas adultas e mudas. O principal dano causado à cultura é a transmissão da murcha, a qual suga a seiva ocasionando a morte da planta (GALLO, 1998), porém o grau de infestação por pragas não chega a comprometer economicamente a cultura (WIKIPÉDIA, 2006).

#### 2.4.2.3 Áreas de ocorrência

O curauá é considerado cultura pré-colombiana com ocorrência natural na Venezuela, Guiana Francesa e Brasil (WF, 2006). Na Amazônia ocorre nas regiões dos rios Xingu, Tocantins, Maicuru, Trombetas, Paru, Acará e Guamá, nas partes altas da Ilha do Marajó e estado do Amapá, sendo encontrado ainda nos estados de Goiás, Mato Grosso e Acre (MEDINA, 1959). No estado do Pará, o cultivo destaca-se nos municípios de Bragança e Santarém e atualmente ocorre uma expansão no município de Santo Antônio do Tauá, Mojú, Ponta de Pedras e Vigia. A plantação pode se dar por monocultivo e em consórcio com outras espécies (MEDINA, 1959).

#### 2.4.2.4 Usos e perspectivas

O potencial de aplicação das fibras de curauá abrange diferentes mercados, como os setores automobilístico, geotêxtil, agrotêxtil, médico (a toxina encontrada no soro da planta utilizada na produção de bactericidas) e tantos outros. É uma fibra altamente resistente, com longa vida e grande capacidade de absorção e sustentação. O curauá pode ser de uso familiar, bem como para a fabricação de papel, a partir da sobra do processo de desfibramento da planta que resulta num composto viscoso chamado de mucilagem. Atualmente o Estado do Pará está produzindo 20 toneladas de fibra por mês, enquanto a necessidade da indústria automobilística e têxtil gira em torno de mil toneladas de fibra/mês (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE, 2006).

### 2.4.3 Características do freijó

#### 2.4.3.1 Classificação e descrição botânica

**Família:** Boraginaceae

**Nome científico:** *Cordia goeldiana* Huber

**Sinonímias:**

**Vernáculos:** Freijó, cordia preta, frei jorge, freijó cinza

#### 2.4.3.2 Aspectos morfológicos

a) *Hábito:* Árvore grande semidecídua chegando atingir 40m de altura e 1,20-cm de diâmetro. Sua freqüência na floresta varia de 0,1-0,6 arv/ha e volume 0,3-1,1m/ha. Em plantios o freijó alcança 3 m em 2 anos (SILVA et al., 1977).

b) *Copa:* **Copa** irregular

c) *Casca:* Casca muito grossa, fendilhada e escamosa.

d) *Folha:* Folha simples, alterna, glabra, oblonga/obovada com tamanho 5,5 x11,0.

e) *Flor:* Apresenta flor tubulosa de cor branca formando cachos. Apresenta 5 pétalas, Panícula terminal, 7-12cm, branca durante floração, castanha durante frutificação, devido as corolas marcescentes com esta coloração.

f) *Fruto* :. Seco de cor cinza com tamanho de 2 cm; Estilete e cálice persistentes; a corola também é persistente, marcescente de cor castanha, que lembra um paraquedas, planando facilmente. Os frutos colhidos diretamente da árvore devem ser deixados ao sol para secarem e facilitar a eliminação das pétalas secas aderidas.

g) *Semente:* Ficam no interior do dos frutos. A retirada das sépalas, bem como das sementes que ficam no interior dos frutos é praticamente impossível, podendo ser plantadas como se fossem verdadeiras sementes. Quando são secas e se consegue retirar as sementes dos frutos obtém-se **37000** Sementes /Kg.

h) *Mudas:* Frutos com cálice aderente devem ser postos para germinar logo que colhidos em canteiros com substrato organo-arenosos cobertos com camada fina de substrato, em ambiente semi-sombreado que devem ser regadas duas vezes ao dia. As mudas estão prontas para plantio definitivo aos 4-5 meses.

i) *Fenologia*. A floração ocorre nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro e a frutificação nos meses de novembro, dezembro e janeiro. A dispersão da semente é da forma anemocoria.

j) *Fitossanidade*. A madeira, em condições adversas, é considerada de resistência moderada ao ataque de organismos xilófagos, segundo observações práticas a respeito de sua utilização (LORENZI, 1992).

#### 2.4.3.3 Área de ocorrência

A espécie *Cordia goeldiana* apresenta distribuição geográfica no Amazonas e Pará em floresta de terra firme.

#### 2.4.3.4 Aspectos da madeira e usos

A madeira do freijó é moderadamente pesada (0,59) cerne pardo-claro-amarelado ou, também, pardo-claro-acastanhado, eventualmente com reflexos róseos, uniforme, textura média, grã direita, superfície lustrosa, acentuadamente nas faces radiais, moderadamente áspera ao tato; cheiro peculiar, mas pouco acentuado; gosto imperceptível. Madeira nobre utilizada na construção civil e paisagismo. A madeira de freijó, por ter cor pardacenta, agradável, com retratibilidade baixa e propriedades mecânicas médias, é particularmente indicada para móveis finos, folhas faqueadas decorativas, lambris, painéis; em construção civil, como caixilhos, persianas, venezianas, ripas, acabamento interno, molduras, guarnições, sarrafos; em construção da estrutura de hélices de pequenos aviões, de barcos de recreio, laterais de escada etc. (YARED, 1990).

#### 2.4.4 Características gerais do mogno (*Swietenia macrophylla*, King)

A família Meliaceae distribui-se principalmente nas regiões tropicais e subtropicais da América, África, Ásia e estendendo-se também na Nova Zelândia e ao longo da costa Oriental da Austrália (GONZÁLEZ, 1976). Dentre as espécies que pertence à família Meliaceae encontra-se a espécie *Swietenia macrophylla* King conhecida vulgarmente como mogno.

É uma árvore que ocorre naturalmente desde a península de Yucatam, localizada na parte sul do México, na América Central, estendendo-se pela Venezuela e Brasil. Adaptado a grande variação de habitats, encontra ótimas condições para seu pleno desenvolvimento em florestas tropicais com precipitações pluviométricas de cerca de 1000 a 2000 mm de chuvas anuais, com fertilidade de solo de médio a pesado, alcalino a neutro e bem drenado (LAMB, 1966). Em se tratando da importância econômica desta espécie, é uma madeira de lei de grande valor no mercado, tanto interno quanto externo, apresentando propriedades físicas e mecânicas desejáveis para ser empregada em usos nobres, como o mobiliário (GULLISON e HUBBELL, 1992).

O uso da madeira é diversificado, tais como, na fabricação de móveis, portas, janelas, construções civis, construções navais e aeronáuticas, esculturas e instrumentos musicais durabilidade. Apresenta estabilidade dimensional e facilidade de ser manuseada em carpintaria (VERÍSSIMO et al., 1992). De coloração avermelhada, com um lustre dourado e bastante perfumada (OLIVEIRA et al., 1986). Segundo Lorenzi (1992), *S. macrophylla* possui como características dendrológicas, ser uma espécie de porte elevado, que atinge uma altura de 30m, tronco retilíneo e cilíndrico. As raízes tabulares apresentam-se com baixa frequência. A copa das árvores jovens é estreita e as das plantas mais velhas são ampla, densa, e fortemente ramificada. A casca das árvores jovens é acinzentada e lisa, tornando-se marrom-acinzentada e gretada ao avançar da idade. Árvore perenifólia com folhas pinadas alternas com 25 a 45cm de comprimento. As pequenas flores de coloração creme-amarelada estão inseridas em panículas de 15 a 25cm de comprimento. A floração varia no espaço e no tempo, em função da estação climática. O fruto é constituído por uma cápsula lenhosa de 12 a 16 cm de comprimento.

Nos plantios comerciais de mogno o ataque da *Hypsipyla grandella* no broto apical causa prejuízo na forma e no crescimento do fuste, mas mesmo em ataque severo, raramente a planta morre. O ataque tende ser mais pronunciado em brotos mais novos, durante os primeiros anos (3 a 6) e altura variando de 2 a 8m (MAYHEW e NEWTON, 1998). Devido aos danos causados por *H. grandella*, 835.000 plantas de *Swietenia* e 1000.000 de *Cedrella* foram efetivamente destruídas e abandonados no período de 1935 a 1943 em Porto Rico (NEWTON et al., 1993).

Uma das características marcante desta praga é perfurar o broto terminal abrindo galerias no caule, inibindo o crescimento da planta. Ohashi et al (2002), consideram que os três primeiros anos de uma plantação constituem o período crítico, pelas seguintes razões: a) a tora basal é a mais valiosa; b) uma árvore com bifurcação baixa não produzirá madeira de

valor comercial; c) o ataque de *H. grandella* retarda o crescimento, aumentando os custos de manutenção, os quais são muito altos nos primeiros anos; d) as evidências indicam que quando as árvores atingem uns 6 m de altura, os danos são menores porque as plantas apresentam maior capacidade de recuperação.

## 2.5 Conceito de qualidade do solo

A qualidade do solo constitui atualmente um tema cujo interesse vem sendo despertado pela crescente conscientização de que o solo representa um componente de crucial importância da biosfera, que além de promover a produção de alimentos e fibra, funciona também na manutenção da qualidade ambiental local, regional e global (GLANZ, 1995).

Dentro de um conceito atual, a Soil Science Society Comitê AdHoc (S-581), define qualidade do solo como “ a capacidade que um determinado tipo de solo tem de funcionar dentro de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade vegetal e animal mantendo ou melhorando a qualidade da água e do ar e proporcionar habitação e saúde humana”(KARLEN et al., 1997).

O conceito de qualidade do solo esteve durante muito tempo associado ao conceito de fertilidade, por acreditar-se que um solo quimicamente rico era um solo com alta qualidade, tendo a capacidade de prover a produção agrícola (KARLEN et al., 2003). Entretanto, Zilli et al, (2003), com base na evolução da percepção da qualidade do solo, notadamente na última década, conclui que um solo para ser considerado de alta qualidade deve possuir além de alta fertilidade boa estruturação e abrigar grande diversidade biológica.

Embora a contribuição do solo para a produtividade vegetal seja amplamente reconhecida, as condições deste também podem impactar a qualidade do ar e da água. National Research Council (1993), relata que a qualidade das águas superficiais e subterrâneas têm sido contaminadas em várias partes do mundo, por intensivas práticas de manejo que utilizam pesticidas e fertilizantes e, como consequência promovendo o desequilíbrio do C, N e da ciclagem da água no solo.

Adicionalmente, as práticas de manejo podem influenciar a qualidade atmosférica através das alterações da capacidade do solo para absorver importantes gases atmosféricos como CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (ROLSTON et al., 1993).

A pesquisa científica tem dado significativa contribuição para o manejo sustentável de terras pela tradução do conhecimento e informações científicas sobre a função dos solos

em ferramentas e procedimentos práticos, que podem ser utilizadas por qualquer agricultor para obter a sustentabilidade através do manejo adequado do solo (DUMANSKI et al., 1992).

Dessa forma, o conhecimento da qualidade do solo influencia o potencial de uso assim como a produtividade dos agroecossistemas, sendo seu estudo necessário para a obtenção de informações que auxiliam a tomada de decisões para que o manejo adequado proporcione melhor utilização desse recurso (SPOSITO e ZABEL, 2003).

## 2.6 Indicadores microbiológicos da qualidade do solo

A qualidade do solo é mensurada através do uso de indicadores. Indicadores são atributos que medem o *status* ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos. Um indicador biológico deve ser sensível o suficiente para refletir as mudanças que ocorrem no solo decorrentes das práticas de manejo e das condições ambientais (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

Os microrganismos se enquadram nesses critérios, podendo ser utilizados como sensíveis bioindicadores da qualidade do solo. Segundo Doran & Parkin (1994), bioindicadores são propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado deste ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento do solo. Biomonitoramento é a medida da resposta de organismos vivos a mudanças no seu ambiente (WITTIG, 1993).

A atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 a 30 cm. Nestas camadas, o componente biológico ocupa uma fração de menos que 0,5% do volume total do solo e representa menos de 10% da matéria orgânica. Este componente biológico consiste principalmente de microrganismos que realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo. Os microrganismos decompõem a matéria orgânica, liberam nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradam substâncias tóxicas (KENNEDY e DORAN, 2002). Além disso formam associações simbióticas com as raízes das plantas, atuam no controle biológico de patógenos, influenciam na solubilização de minerais e contribuem para a estruturação e agregação do solo. Segundo Powlson; Brookes; Christensen (1997), a função dos microrganismos é indicar modificações impostas ao meio pelos sistemas de manejo. Desta forma, podem ser sensíveis indicadores de mudanças na qualidade do solo. Os microrganismos possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças na qualidade do solo, características que não é observada nos indicadores físicos ou

químicos. Em alguns casos, alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades físicas e químicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo. Stenberg (1999), enfatiza que nenhum indicador individualmente será capaz de descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo, existindo uma relação entre todos os atributos do solo.

### 2.6.1 Atividade microbiana (CO<sub>2</sub>)

A respiração do solo consiste na medida da produção de CO<sub>2</sub>, resultante da atividade metabólica dos microrganismos heterotróficos aeróbios durante a oxidação da matéria orgânica (PARKIN et al., 1996). A atividade dos organismos no solo é considerada um atributo positivo para a qualidade do solo, sendo a respiração um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono orgânico do solo (COS) e de distúrbios no ecossistema (PAUL et al., 1999). Entretanto a interpretação de seus valores deve ser realizado com cautela.

Uma alta taxa de respiração, indicativa de alta atividade biológica, pode ser uma característica desejável quando se considera a mesma um sinal da rápida decomposição de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. No entanto, a decomposição da matéria orgânica estável da fração húmica do solo é desfavorável para muitos processos químicos e físicos do solo, como a agregação, a capacidade de troca de cations e a capacidade de retenção de água. Assim, uma alta atividade respiratória pode resultar tanto de um grande “pool” de substrato de C lábeis onde a decomposição da matéria orgânica é intensa, como na rápida oxidação de um pequeno “pool” decorrente por exemplo, da quebra de agregados do solo, a qual expõe material orgânico outrora indisponíveis para as populações microbianas, ou ainda como resultado da incorporação de resíduos culturais. Desse modo, altas taxas de respiração podem ser indicativo tanto de um distúrbio ecológico como de um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAND e WEIL, 2000).

A taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana (BM), ou quociente metabólico ( $qCO_2$ ), representa uma variável de interpretação aparentemente mais adequada. Essa variável ecofisiológica da atividade específica foi proposta por Anderson e Domsch (1985), como uma adaptação da teoria descrita por Odum (1969), e prediz que, à medida que determinada BM se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menor teor de C transforma-se em CO<sub>2</sub> pela respiração e maior proporção de C incorpora-se aos tecidos

microbianos. Em geral, um baixo  $q\text{CO}_2$  indica economia na utilização de energia e supostamente reflete um ambiente mais estável ou mais próximo ao seu equilíbrio; ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbios. Frequentemente, solos com alto quociente metabólico são dominados por organismos colonizadores de crescimento rápido (SAKAMOTO e OBO, 1994).

A respiração do solo pode ser determinada pela produção de  $\text{CO}_2$  ou pelo consumo de  $\text{O}_2$ . A medida de produção de  $\text{CO}_2$  torna-se mais sensível, pois a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera é mais baixa (0,33%) do que do  $\text{O}_2$  (20%). A avaliação da respiração do solo pode ser realizada em laboratório ou no campo, sendo comum o uso de técnicas simples, como a incubação do solo em frasco hermeticamente fechado durante o período de até uma semana sendo o  $\text{CO}_2$  liberado, capturado em solução de NaOH, a qual é posteriormente titulada com solução de HCL (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007).

A respiração microbiana diminui com a profundidade do solo e correlaciona-se significativamente com o conteúdo de matéria orgânica e outros indicadores biológicos. Existe variação na respiração microbiana nos diferentes sistemas de manejo do solo, sendo este um indicador altamente sensível dos efeitos de contaminações e alterações do solo (ARAÚJO et al., 2003).

### 2.6.2 Biomassa microbiana (C e N) e quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ )

A biomassa microbiana (BM) é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo e inclui bactérias, actinomicetos, fungos, algas e microfauna. Constitui parte da matéria ativa do solo, contendo em média, de 2 a 5% do carbono orgânico total (COT) (Jenkinson & Ladd, 1981) e de 1 a 5% do N total do solo (SMITH e PAUL, 1990).

Os microrganismos são responsáveis pela imobilização temporária de C, N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes que serão liberados após sua morte e decomposição (GAMA-RODRIGUES, 1997). Em razão disso, a BM é considerada um dos componentes que controlam funções-chaves no solo, representando ainda uma reserva considerável de nutrientes, que podem ser continuamente desviados para os ciclos de crescimento dos organismos que compõem o ecossistema. Conseqüentemente, solos com alto conteúdo de BM são capazes de estocar e ciclar mais nutriente através do sistema (STENBERG, 1999).

A manutenção da matéria orgânica do solo torna-se desejável para a sustentabilidade do uso da terra, em razão dos múltiplos benefícios sobre o *status* de nutrientes, sobre a capacidade de retenção de água e sobre a estrutura do solo. Entretanto, mudanças pequenas e graduais na matéria orgânica do solo podem ser de difícil detecção e monitoramento em curto prazo (Sparling, 1992). A biomassa microbiana, por possuir comparativamente uma taxa de giro (formação e decomposição) consideravelmente mais rápida de 1 a 2 anos, tem sido sugerida como medida mais sensível de aumento ou de decréscimo na quantidade total de matéria orgânica do solo (JENKINSON e LADD, 1981). Desse modo, mudanças significativas na BM do solo podem ser detectadas muito antes que alterações na matéria orgânica possam ser percebidas, possibilitando a adoção de medidas de correção antes que a perda da qualidade do solo seja mais severa (TÓTOLA e CHAER, 2002).

A relação entre o C microbiano (CM) e o carbono orgânico (CO) ( $[CM/CO] 100$ ), também denominado quociente microbiano (qMIC), fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica. Segundo Wardle (1994), em circunstâncias em que a biomassa encontra-se sob algum fator de estresse nutricional ou ambiental a capacidade de utilização do C é diminuída. Nesse caso, ocorre a diminuição da relação CM:CO ( $< qMIC$ ). Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a BM pode aumentar rapidamente ( $> qMIC$ ), mesmo se os teores de CO permanecerem inalterados (POWLSON et al., 1987). As mudanças no qMIC podem refletir também os acréscimos de matéria orgânica ao solo, a eficiência de conversão do CO para carbono microbiano (CM), as perdas de C do solo e a estabilização do CO pelas frações minerais do solo (SPARLING, 1992).

Por ser considerada o compartimento central do ciclo do C, a BM representa um importante reservatório de nutrientes nos solos, sendo um atributo fundamental para o estudo da ciclagem de nutrientes em diferentes ecossistemas. Nesse sentido, a biomassa microbiana pode exercer função catalizadora, de fonte, e/ou de reserva de nutrientes (PAUL e CLARK, 1989; WARDLE, 1992). Para Smith e Paul (1990), a rápida ciclagem da biomassa microbiana pode também fornecer fluxos de relevante importância na nutrição das plantas. Quando a BM exerce função de reserva, a quantidade de nutrientes fornecida via ciclagem de nutrientes é menor do que aquela que entra no sistema. Quando exerce função de fonte, a quantidade liberada é maior do que aquela que entra. Na função apenas de catalizadora, as quantidades de entrada e saída são iguais, ou seja o balanço é nulo (GAMA-RODRIGUES, 1999).

Apesar da importância da biomassa microbiana como indicador ecológico, ainda existe um limitado número de estudos do efeito do deflorestamento sobre a matéria orgânica

dos solos da região Amazônica (LUIZÃO et al., 1992; BONDE et al., 1995; PFENNING, *et al.*, 1992; GERALDES, et al., 1995; CERRI, et al., 1985; MOREIRA e MALAVOLTA, 2004).

A quantificação da biomassa microbiana pode ser realizada por diferentes métodos entre estes um dos mais comumente utilizados é o da fumigação extração. Neste método o C da BM é determinado pela diferença do teor de C extraído com solução de  $K_2SO_4$   $0,5 \text{ ml L}^{-1}$  de amostras fumigadas e não-fumigadas com clorofórmio (TÓTOLA e CHAER, 2002).

### 2.6.3 Relação CBM: CO / NBM: N total e C/N

As relações C microbiano: C orgânico e N microbiano: N total, expressam índices de qualidade nutricional da matéria orgânica. Para solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional a biomassa microbiana encontra-se sob condições de estresse, tornando-se incapaz de utilizar totalmente o N e C orgânico. Nesse caso, as relações C microbiano: C orgânico e N microbiano: N total diminuem. Ao contrário, com adição de matéria orgânica de boa qualidade nutricional, a biomassa pode aumentar rapidamente, mesmo se os níveis de C orgânico permanecem inalterados (WARDLE, 1992). A relação C:N microbiana também pode ser usada como um índice para expressar a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C e N, refletindo a qualidade nutricional da matéria orgânica. Quando a relação C/N for maior que 30, o processo predominante seria de imobilização do nitrogênio, e para uma relação entre 20 e 30 os processos de mineralização e mobilização seriam equivalentes e para valores menores que 20 a taxa de mineralização seria maior (COLOZZI-FILHO et al., 2001).

### 2.6.4 Contagens microbiológicas

A densidade da comunidade microbiana é um termo usado para avaliar quantitativamente a presença dos microrganismos, revelando o número deles em unidade definida ( peso ou volume ) do solo. As técnicas mais frequentemente usadas são baseadas na diluição de suspensão do solo, e entre elas, a da contagem através da diluição em placas (DROZDOWICZ e KULINSKA, 1982). O número de microrganismos se relaciona com a umidade, o pH, o conteúdo de matéria orgânica e a temperatura do solo. A correlação particularmente significativa entre o conteúdo orgânico e as contagens microbianas se

evidencia pelo maior número de microrganismos na rizosfera e a associação destes com as camadas de húmus da superfície do solo. Assim, as contagens mais elevadas são correspondentes ao horizonte A, rico em húmus, seguida pelas contagens da parte superior do horizonte B. Surpreendentemente, as bactérias anaeróbias se localizam em maior quantidade nas camadas superiores do solo, corroborando a hipótese da existência de microambientes anóxicos a qualquer profundidade, dependendo do regime de águas (GRANT e LONG, 1989).

Entre os atributos microbiológicos que apresentam grande potencial de utilização como indicadores sensíveis do estresse ecológico destacam-se a densidade total de bactérias e de fungos (LEE, 1994). Estes microrganismos estão diretamente envolvidos nos ciclos de nutrientes do solo e sua quantificação aliada à avaliação de determinados grupos microbianos dá indicação de como os processos bioquímicos estão ocorrendo. Segundo Brookes (1995), a contagem de microrganismos no solo, apesar de ser vista com reserva, ajuda a entender os processos que nele ocorrem e pode servir como indicador do impacto de diferentes atividades antrópicas.

#### **2.6.5 Diversidade microbiana**

Em microbiologia, o termo biodiversidade tem sido definido como o número de diferentes espécies em uma comunidade, para um ambiente específico. Do ponto de vista da ecologia molecular, biodiversidade pode ser definida como o número de seqüências de DNA divergentes presentes no DNA total extraído de uma comunidade, para um ambiente específico (GARBEVA et al., 2004).

Os microrganismos vêm evoluindo a aproximadamente 4 bilhões de anos, e até 2 bilhões de anos atrás eram a única forma de vida na terra (WARD, 1998). Em virtude da sua longa história evolutiva e da necessidade de adaptação aos mais distintos ambientes, os microrganismos acumularam uma impressionante diversidade genética, que excede, em muito, a diversidade dos organismos eucariontes (WARD, 1998; HUNTER-CEVERA, 1998). Sendo assim, os microrganismos representam o repertório mais rico em diversidade química e molecular na natureza, constituindo a base de processos ecológicos, como os ciclos biogeoquímicos e a cadeia trófica, além de manter relações entre si e com os organismos superiores (HUNTER-CEVERA, 1998).

A diversidade de microrganismos é tão vasta quanto desconhecida. Um grama de solo pode conter 10 bilhões de microrganismos, representando milhares de espécies

(ROSSELÓ- MORA e AMANN, 2001). O número de espécies microbianas descritas tem aumentado significativamente devido ao rápido desenvolvimento das técnicas de classificação dos microrganismos com base nas seqüências de nucleotídeos do rRNA (RAPPÉ e GIOVANNONI, 2003). Aproximadamente 6.950 diferentes espécies de procariotos foram descritas e cultivadas até setembro de 2004, das quais aproximadamente 96% são do domínio *Bactéria* e 4% do domínio *Archea* (<http://www.dsmz.de/bactnom/bactname.htm>). Esses números são, no entanto, pequenos diante do total de espécies microbianas, estimado em cerca de dois milhões (TRÜPER, 1992).

A diversidade estrutural de uma comunidade microbiana implica em informações sobre o número de indivíduos dos diferentes táxons e sua distribuição relativa na comunidade (LAMBAIS et al., 2005). E a diversidade funcional compreende a diversidade das atividades microbianas no solo. Ela assume grande importância em avaliações ecológicas dos microrganismos dentro do ecossistema, sobretudo, porque se conhece muito pouco sobre a relação entre diversidade estrutural e funcional desses microrganismos (KENNEDY, 1999).

Os microrganismos do solo podem ser classificados em grupos funcionais de acordo com suas atuações nos processos biológicos do ecossistema. Exemplos desses grupos são os microrganismos envolvidos no ciclo do nitrogênio (diazotróficos, desnitrificadores, amonificadores) e os envolvidos no ciclo do carbono, desde os degradadores de polímeros complexos, até arqueas, incluindo metanogênicas e metanotróficas (TORSVIK e ØVREAS, 2002).

A proposta de se utilizar a diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo vem das observações de que os microrganismos, em último nível, são os responsáveis por recuperarem formas de energia e nutrientes que outros organismos mais evoluídos, como os animais, não conseguem (LOREAU, 2001). O nitrogênio é um caso que explica essa condição, pois, antes dos avanços industriais do século 20, sua disponibilidade no solo era basicamente dependente de microrganismos. Dessa forma, por estarem tão intimamente associados aos processos ecológicos do ambiente, os microrganismos apresentam grande potencial como indicadores da qualidade do solo (HOFMAN et al., 2003).

## 2.7 FUNDAMENTOS DA UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS MOLECULARES NA IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES MICROBIANAS.

A falta de conhecimento sobre a diversidade microbiana em amostras ambientais é atribuída em grande parte aos métodos tradicionalmente utilizados para o isolamento e cultivo de microrganismos em laboratório, uma vez que apenas uma pequena fração dos microrganismos na natureza ( ao redor de 0.1% ou no máximo 10% do total da população) é cultivável nas condições artificiais do laboratório (RONDON et al., 1999; WATTS et al., 1999).

Atualmente o emprego de métodos moleculares, como a tecnologia do DNA recombinante tornou-se possível o desenvolvimento de novas metodologias que permitem isolar e caracterizar o material genético presente em amostras ambientais (BOLÍVAR, 2004). Ao conjunto de genomas dos microrganismos em uma amostra de um determinado nicho ecológico denomina-se metagenoma (HANSDELSMAN et al., 2002). A análise do metagenoma pelas técnicas moleculares tem permitido determinar que a maior diversidade encontra-se no grupo dos microrganismos não cultiváveis em laboratório (KELLER e ZENGLER, 2004).

### 2.7.1 Tecnologia do DNA recombinante

A tecnologia do DNA recombinante compreende um elenco de técnicas e dentre estas podem ser destacadas: a) clivagem de DNA em sítios por *endonucleases de restrição*, as quais facilitam grandemente o isolamento e a manipulação de genes individuais; b) *sequenciamento rápido* de todos os nucleotídeos de um fragmento de DNA purificado, que torna possível a determinação dos limites de um gene e dos aminoácidos que ele codifica; c) hibridização de ácidos nucléicos, que possibilita encontrar uma seqüência específica de DNA ou RNA, com grande precisão e sensibilidade. Baseia-se na capacidade destas moléculas de se ligarem a seqüências complementares de ácidos nucléicos. (ALBERT et al., 1997).

### 2.7.2 Reação de polimerase em cadeia (PCR)

A tecnologia da reação de polimerase em cadeia (“PCR – polymerase Chain Reaction”) foi concebida por Kary Mullis em meados da década de 80 (MULLIS & FALOONA, 1987; SAIKI et al., 1985). Desde sua concepção, esta tecnologia causou uma verdadeira revolução na biologia tanto na pesquisa visando o entendimento de processos biológicos fundamentais como nas áreas aplicadas que envolvem diagnósticos e melhoramento genético de plantas e animais domésticos (FERREIRA e GRATTAPAGLIA, 1996).

PCR é uma técnica poderosa, que envolve a síntese enzimática in vitro de milhões de cópias de um segmento específico de DNA na presença da enzima DNA polimerase. A reação de PCR se baseia no anelamento e extensão enzimática de um par de oligonucleotídeos (pequenas moléculas de DNA de fita simples) utilizados como iniciadores (“primers”) que delimitam a sequência de DNA de fita dupla alvo da amplificação (FERREIRA e GRATTAPAGLIA, 1996).

### 2.7.3 Marcadores genéticos

A determinação das verdadeiras relações evolutivas entre organismos requer a seleção das moléculas corretas para os estudos de sequenciamento. Este fato é importante por várias razões. Primeiro, a molécula deve ser de *distribuição universal* no grupo escolhido para estudo. Segundo, deve ser *funcionalmente homóloga* em cada organismo; comparações filogenéticas devem ser iniciadas com moléculas de função *idêntica*. Terceiro, é *crucial* que as duas moléculas possam ser *alinhadas* adequadamente, permitindo as identificações de regiões com homologia de sequência, bem como a variância de sequência (MADIGAM et al., 2004)

O uso de marcadores genéticos para investigar a estrutura e diversidade de comunidades microbianas representa uma forma mais adequada para estudar as características ecológicas de complexos habitats (ALEXANDER, 1997; AMANN, 1995). Os genes fornecem informações sobre a presença de determinado grupo fisiológico ou indicam a relação filogenética do microrganismo detectado, com outras formas de vida. Os genes mais comumente utilizados são os da menor subunidade do ribossoma, como o gene 16S rRNA

(16rDNA), e o gene 18S rRNA (18rDNA) dos organismos procarióticos e eucarióticos respectivamente (FOX et al., 1997).

#### 2.7.4 Sequenciamento de DNA

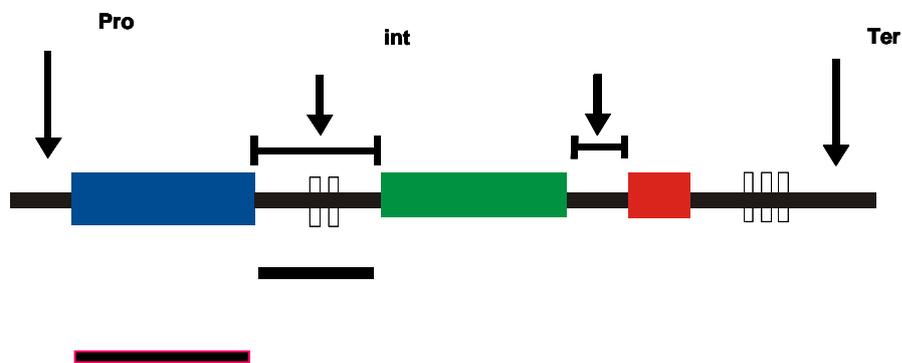
O sequenciamento do DNA é um processo que determina a ordem dos nucleotídeos que constituem essa molécula. Atualmente a técnica mais utilizada para o sequenciamento de DNA é a de Sanger, assim denominada em homenagem a Frederick Sanger que a desenvolveu (<http://www.gbeth.org.br>, 2008). Pelo método de Sanger, uma fita simples de DNA que será sequenciada, é hibridizada com um *primer* de desoxinucleotídeos marcados na ponta 5'. Nessa técnica são usados dois tipos de nucleotídeos: os normais (deoxi) – dATP, dGTP, dCTP e dTTP; e os dideoxinucleotídeos (não têm o grupo hidroxila no carbono 3') – ddATP, ddGTP, ddCTP e ddTTP, que são marcados com material fluorescente. Quatro misturas de reação são preparadas, onde os *primers* utilizados serão alongados por uma enzima DNA polimerase. Cada mistura contém os quatro desoxinucleotídeos trifosfatos normais mais um dos quatro dideoxinucleotídeos trifosfatos. A polimerização do DNA prossegue, com a inclusão dos desoxinucleotídeos, até que, por acaso, a DNA polimerase insere um dideoxinucleotídeo. É uma vez que o açúcar dideoxi não apresenta a hidroxila- 3', a elongação da cadeia de DNA é interrompida. Dessa maneira, o análogo dideoxi atua como um *reagente terminador de cadeia específico*. Com isso são obtidos fragmentos de tamanho variável, dependendo das condições de incubação. Os fragmentos são submetidos à eletroforese, sendo a posição das bandas radioativas determinadas pela autoradiografia. Pelo alinhamento dos poços correspondentes aos quatro dideoxinucleotídeos e pela anotação da posição vertical de cada fragmento em relação ao seu vizinho, a seqüência da cópia do DNA pode ser lido diretamente a partir do gel (MADIGAN et al., 2004).

#### 2.7.5 Métodos para o estudo da diversidade microbiana

Dentre as técnicas baseadas no estudo dos ácidos nucléicos as mais utilizadas são: a) seqüência das subunidades dos rRNA; b) RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA); c) ARDRA (Amplified Ribossomal DNA Restriction Analysis); d) DGGE (Denaturing Gradient

Gel Eletrphoresis); e) AFLP (Amplified Fragment Length Polimorphism); RISA (Ribosomal Intergenic Spacer Analysis).

Os RNAs ribossomais são componente essenciais dos ribossomos envolvidos na tradução do RNA mensageiro (mRNA) para a síntese de proteínas, e estão entre as macromoléculas mais conservadas evolutivamente em todos os seres vivos. Seu papel funcional no sistema de processamento de informações deve ter sido bem estabelecido nos primeiros ancestrais comuns de Bactéria, Arquea e Eucaria. Os genes dos rRNA em todos os organismos os contemporâneos partem de um ancestral comum e não parecem submeter-se à transferência lateral de gene entre espécies (ATLAS; BARTHA, 1998 b). Os genes 16SrRNA (e o homólogo 18SrRNA) possuem regiões altamente conservadas, mesmo entre os membros pertencentes aos diferentes domínios de vida, enquanto outras regiões mostram consideráveis variações na seqüência nucleotídica, mesmo dentro de grupos filogeneticamente próximos. As regiões conservadas e suas seqüências podem ser usadas para medir distâncias filogenéticas entre organismos distintamente relacionados. Variações nas seqüências dos nucleotídeos do rRNA são indícios de mudanças evolucionárias (WOESE, 1987; LUDWIG, 1994).



**Figura 1** – Organização do operon do rRNA ribossômico

A utilização do gene 16SrRNA revolucionou a campo da ecologia microbiana, e com seu uso, tornou-se possível investigar e determinar posições filogenéticas de comunidades bacterianas do meio ambiente (KUSKE, 1997; HENTSCHEL, 2002). Os genes *rrs*, *rrl* e *rrf* codificam para os RNAs ribossomais 16S, 23S e 5S respectivamente.

A seqüência do gene 16SrRNA tem sido amplamente utilizado como marcador pelas seguintes razões: a) está presente em todos os organismos; b) a seqüência de aproximadamente 1500 bases apresenta um elevado grau de conservação e pode acumular variabilidade em diferentes regiões da molécula; d) por ser um marcador bastante usado, várias informações sobre o mesmo estão depositadas em bancos de dados (LANE et al., 1985).

A metodologia de ARDRA (Amplified Ribossomal DNA Restriction Analysis) pode oferecer maior especificidade. O ARDRA explora o uso de oligonucleotídeos iniciadores universais para amplificar as seqüências do rRNA das bactérias, seguidas pela digestão com enzimas de corte freqüente para se determinar a diversidade e identificar/ classificar os isolados ao nível de gênero e algumas vezes ao nível de espécies (LOUWS, 1999).

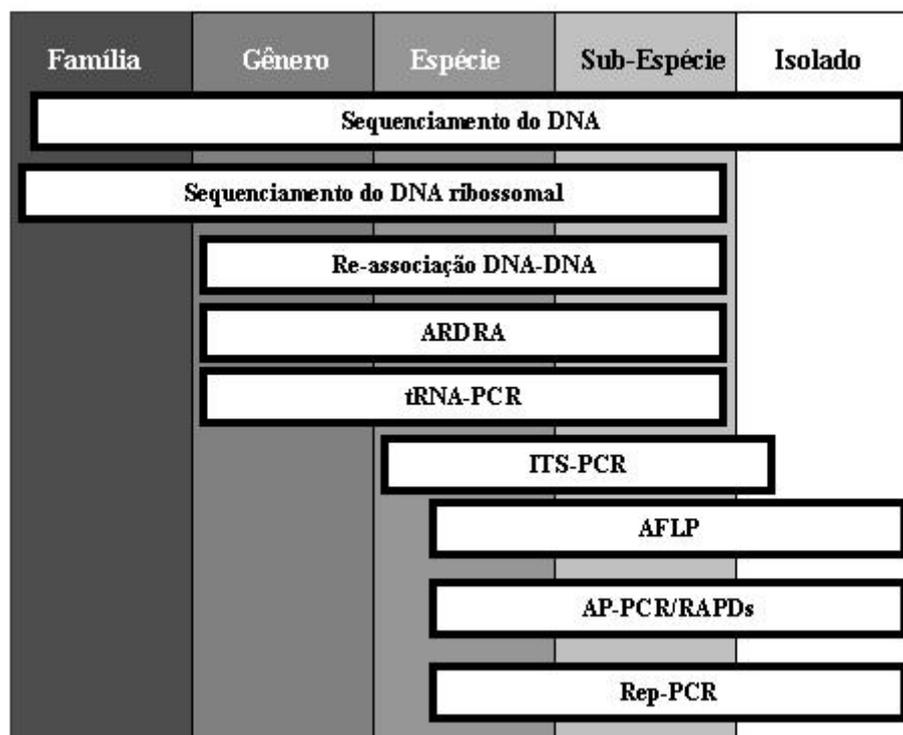
A técnica RAPD (Random Amplified Polimorphic DNA) é muito utilizada para a detecção da variabilidade genética. Nesta técnica, oligonucleotídeos iniciadores de seqüência arbitrária se anelam a diferentes locais do DNA genômico produzindo um perfil de fragmentos, possibilitando assim a tipagem de organismos. O RAPD além de ser um método sensível, tem como principal vantagem o fato de não requerer o conhecimento prévio da estrutura genômica do organismo em análise (LAWRENCE, 1993).

O AFLP (Amplified Fragment Length Polimorphism) apresenta grande poder de detectar um maior número de locos, a partir de quantidades em nanogramas de DNA, possibilitando assim uma ampla cobertura do genoma. Suas principais características são a alta especificidade, a boa reprodutibilidade e o alto poder discriminatório, sendo possível a resolução de um grande número de fragmentos em gel (VOS, 1985).

Eletroforese em gel de poliacrilamida com gradiente desnaturante (DGGE) e eletroforese em gel de gradiente de temperatura (TGGE) são métodos que utilizam géis de poliacrilamida contendo um gradiente desnaturante com concentrações crescentes de formamida/uréia (DGGE) ou um gradiente de temperatura (TGGE), para separar os produtos da amplificação por PCR. A separação dos fragmentos de tamanhos semelhantes, mas de composição diferente, baseia-se na mobilidade eletroforética das moléculas do DNA parcialmente desnaturadas, em géis de poliacrilamida, a qual é menor quando comparada à mobilidade da forma helicoidal da mesma molécula (MUYZER, 1999).

A desnaturação dos fragmentos de rDNA ocorre em fases de desnaturação discretas e depende das seqüências de base, que confere diferentes resistências à desnaturação; são justamente essas diferenças na seqüência de bases o fator que determina as diferentes características filogenéticas de cada comunidade (SCHWIEGER; TEBBE, 1998).

RISA (Ribosomal Intergenic Spacer Analysis) é um método de análise da comunidade microbiana que fornece a estimativa da diversidade da composição da comunidade microbiana, sem os procedimentos que envolvem as culturas *in vitro* ou a construção de bibliotecas genômicas do gene rRNA (FISHER e TRIPLETT, 1999). Esta técnica foi originalmente usada para comparar a diversidade do solo (BORNEMAN e TRIPLETT, 1997), e mais recentemente para examinar a diversidade na rizosfera e meio ambiente marinhos (ACINAS, 1999; ROBLETO, 1998). O método envolve a amplificação por PCR do DNA total da comunidade bacteriana relativos à região intergênica localizada entre a pequena (16S) e a grande (23S) subunidades do gene rRNA no operon rRNA. A região intergênica 16S-23S, apresenta significativa heterogeneidade tanto em tamanho quanto na seqüência de nucleotídeos. Essas variações tem sido bastante utilizadas para distinguir cepas bacterianas e espécies filogeneticamente muito próximas (SCHEINERT et al., 1997). A técnica RISA explora a heterogeneidade do comprimento do espaço intergênico. O produto do PCR, uma mistura de fragmentos oriundos dos membros da comunidade, é separado por eletroforese em gel de poliacrilamida e o DNA é visualizado através da coloração com a prata. O resultado é um complexo padrão de bandas que fornece o perfil específico da comunidade, onde cada banda de DNA corresponde a no mínimo um organismo do conjunto original (FISHER e TRIPLET, 1999).

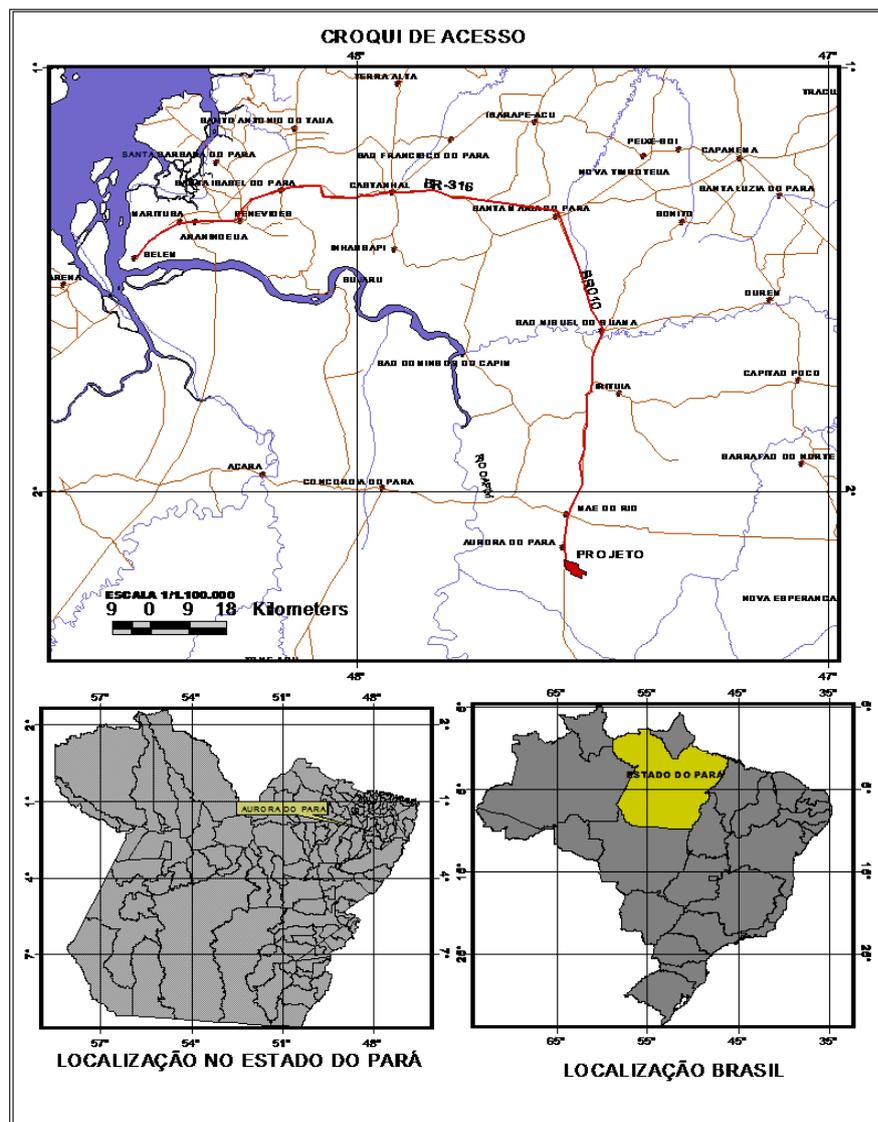


**Figura 2**– Capacidade relativa de resolução dos métodos moleculares

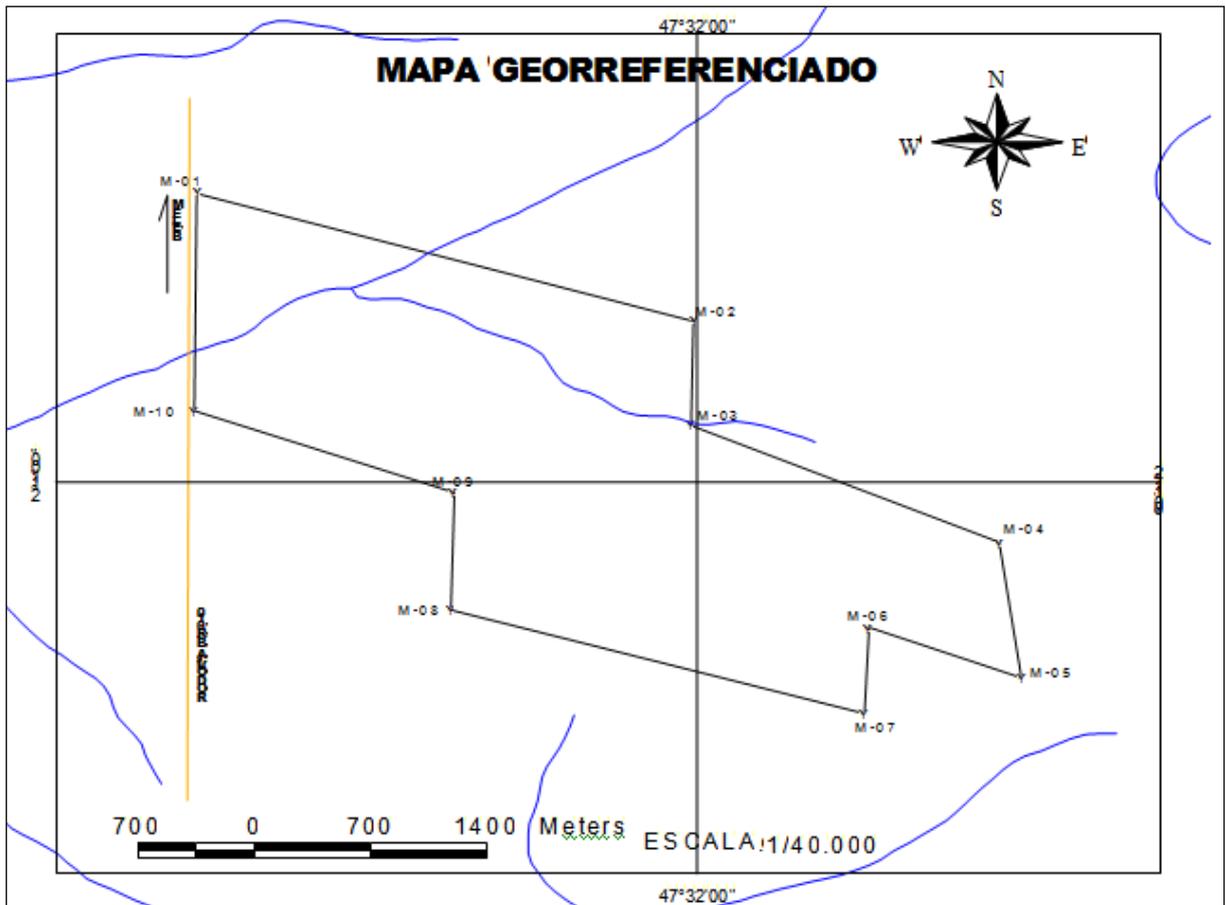
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O trabalho foi realizado no campo experimental pertencente à empresa Tramontina Belém, S.A, localizada no município de Aurora do Pará (Figura 4). A área apresenta diferentes sistemas de plantio servindo para diversos estudos relacionados à recomposição de áreas alteradas por pastagens. O campo experimental tem área de 947 ha e está situado entre as coordenadas 2°10'00" latitude sul e meridiano 47°32'00" w . Seu acesso principal é feito pela BR 010, distante em linha reta duzentos e dez quilômetros da cidade de Belém, capital do estado do Pará (Figura 3).



**Figura 3** – Croqui de acesso ao campo experimental da empresa Tramontina Belém S.A.



**Figura 4** – Mapa de localização do campo experimental da empresa Tramontina Belém S.A no município de Aurora do Pará (PA).

### 3.2 PREPARO DA ÁREA PARA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O solo foi preparado com roçagem mecânica, seguido de aragem e gradagem, demarcação e piqueteamento. As mudas de paricá, mogno e freijó foram produzidas no próprio local, já as mudas de curauá roxo foram adquiridas de terceiros, provenientes de micropropagação. As covas para o plantio florestal obedeceram às dimensões de 20 cm x 20 cm x 20 cm e para o curauá as dimensões de 5 cm x 5 cm x 5 cm. O plantio foi efetuado em espaçamento de 4 m x 3 m para as espécies florestais e para o curauá o espaçamento foi de 0,50 x 0,80 m. Na ocasião do plantio foi realizada adubação orgânica com esterco de curral (500g/cova) e cama de galinha (150g/cova), para as espécies florestais e agrônômicas, respectivamente.

### 3.3 TRATOS CULTURAIS

No plantio de florestal, no primeiro e segundo ano, foram realizadas três capinas mecânicas seguido de coroamentos e adubações de 150g/planta NPK (10:20:20) aos 45, 180 e 300 dias. No terceiro ano, dois coroamentos seguidos da aplicação de 100g/planta NPK (10:20:20), no início e final das chuvas. No plantio na presença do curauá, foram realizadas três capinas no primeiro ano e duas capinas no segundo e terceiro ano. No plantio de curauá, após cada capina, foram realizadas adubações de 10g/planta de NPK (10:10:10).

### 3.4 IMPLANTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS ESTUDADOS

Os experimentos foram implantados em áreas equidistantes, obedecendo um delineamento em blocos completamente ao acaso com quatro repetições, perfazendo 16 parcelas. Cada parcela foi implantada em uma área de (18x24m = 432 m<sup>2</sup>), sendo adotado um espaçamento de 4x3 m para as espécies florestais e de 0,50 x 0,80m para a espécie agrícola. Os tratamentos estudados foram denominados e constituídos:

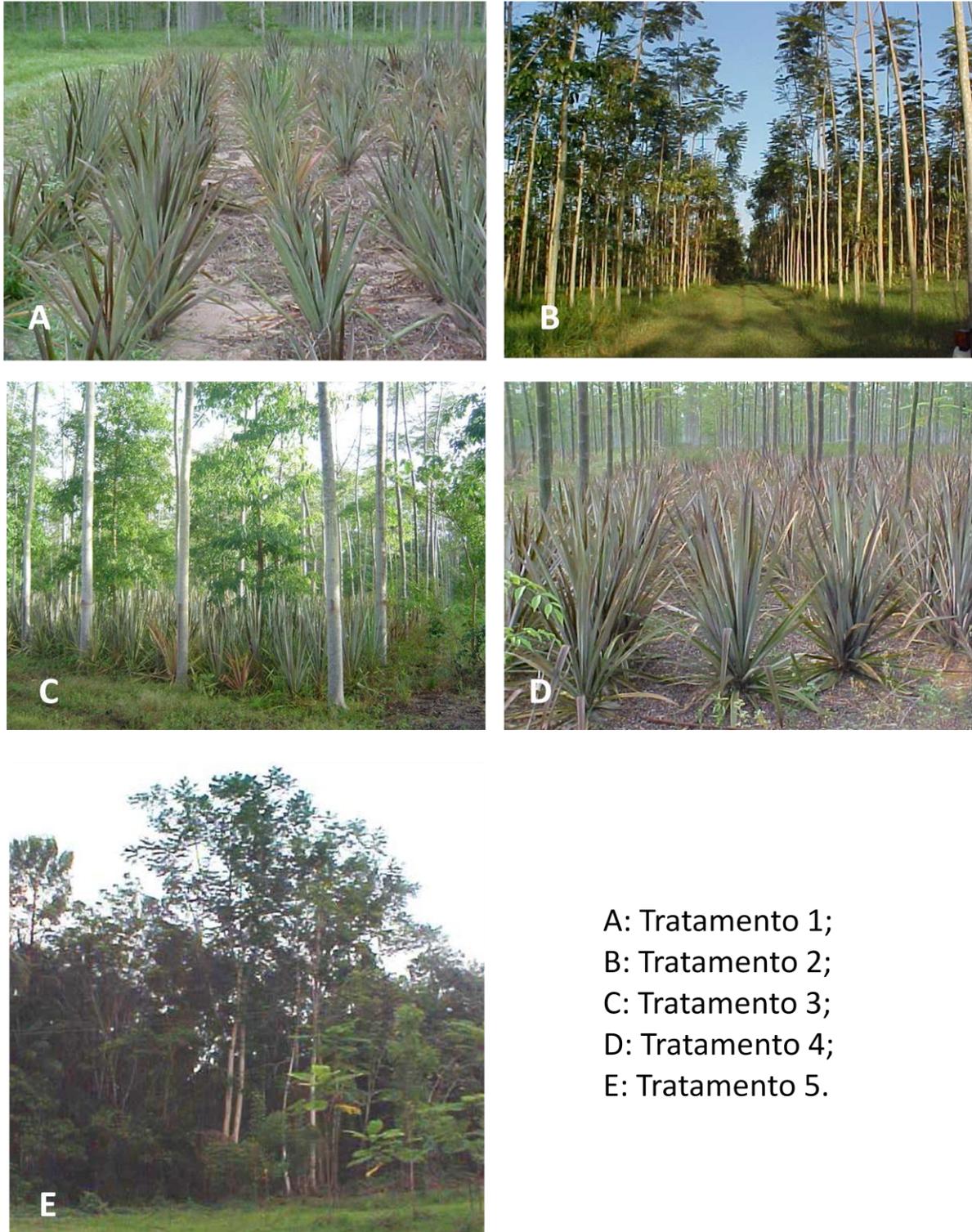
Tratamento 01 (Monocultivo agrícola) – Quatro parcelas instaladas no ano de 2003, contendo somente a espécie curauá (*Ananas comosus var. erectifolius* L. B. Smith) à pleno sol (Figura 05- A).

Tratamento 02 (Monocultivo florestal) – Quatro parcelas ocupadas somente com a espécie florestal paricá (*Schizolobium parahiba var. amazonicum* Huber ex Ducke) instaladas no ano de 2003.(Figura 05 –B).

Tratamento 03 (Sistema agroflorestal) – Quatro parcelas contendo as espécies florestais paricá, mogno (*Switenia macrophylla*, King) e freijó (*Cordia goeldiana* Huber), plantadas no ano de 2001, onde foi introduzido o plantio da espécie agrícola curauá no ano de 2003.(Figura 05-C).

Tratamento 04 (Sistema agroflorestal) – Quatro parcelas plantadas simultaneamente com a espécie florestal paricá e a espécie agrícola curauá no ano de 2003.(Figura 05-D).

Tratamento 05 (Testemunha) – Área de capoeira adjacente ao experimento de 8 anos.(Figura 05-E).



**Figura 5** – Aspecto dos tratamentos por ocasião das amostragens do solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA), 2007.

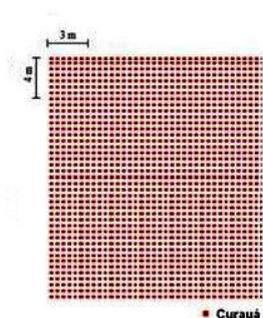
A distribuição temporal das espécies componentes dos sistemas no campo experimental da empresa Tramontina Belém S.A é mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1** – Distribuição temporal dos componentes dos sistemas no campo experimental Tramontina Belém S.A. Aurora do Pará, 2007.

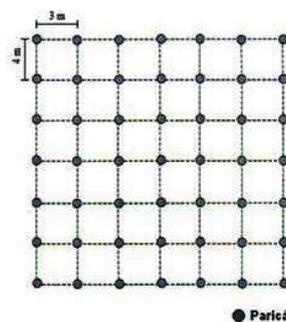
Sistemas de cultivo	Espécies		Ano do Plantio	
	Ftal	Agr.	Ftal	Agr.
Paricá + Mogno + Freijó 2001+Curauá 2003	PMF	C	2001	2003
Paricá 2003	P	-	2003	-
Paricá 2003+Curauá 2003	P	C	2003	2003
Curauá 2003	-	C	-	2003
<b>Testemunha (Capoeira)</b>	-	-	-	-

Nota: Ftal- Florestal; Agr. Agronômica; P – Paricá; M – Mogno; F – Freijó; C – Curauá

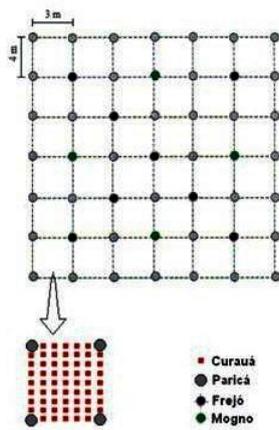
A forma como as espécies foram distribuídas nos tratamentos pode ser observada nas Figura 6, Figura 7, Figura 8 e Figura 9 que representam uma parcela de cada tratamento.



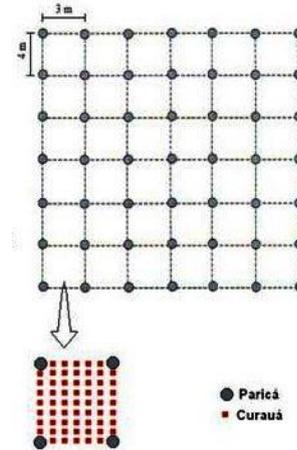
**Figura 6** – Tratamento 01: Curauá solteiro a pleno sol



**Figura 7** – Tratamento 02: Paricá Solteiro



**Figura 8** – Tratamento 03: Paricá, Curauá, Freijó e Mogno



**Figura 9** – Tratamento 04: Paricá e Curauá

### 3.5 COLETA DAS AMOSTRAS

A amostragem do solo para os ensaios analíticos foi realizada em novembro de 2006. Em três parcelas de cada tratamento foram abertas trincheiras perpendiculares à linha de cultivo, com 1,20 m de largura por 1,0 m de profundidade. Após a abertura das trincheiras, os perfis mostrados tiveram suas estruturas delineadas (Figura 10) e a amostragem foi realizada horizontalmente através de um extrator metálico acoplado com cilindros de PVC nas profundidades 10, 20 e 40 cm dentro de cada estrutura delineada de cada parcela amostrada. Finalizada a coleta, as amostras foram imediatamente refrigeradas e conservadas em recipientes isotérmicos durante o transporte para os locais de análise.



**Figura 10** – Aspecto de perfil aberto para a amostragem dos solos.

## 3.6 PARÂMETROS ANALISADOS

### 3.6.1 **Determinação das variáveis microbiológicas**

Nas amostras de solo foram efetuadas as seguintes determinações microbiológicas: a) Contagem da população de fungos e bactérias, realizada no Laboratório de Microbiologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade do Estado do Pará; b) Atividade microbiana, C e N da biomassa microbiana e c) Identificação das principais espécies microbianas predominantes, através de métodos moleculares de extração de DNA de solo, realizados no Laboratório de Biologia Molecular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA em Piracicaba - São Paulo.

### 3.6.2 **Determinação das variáveis químicas**

As amostras de solo foram submetidas às análises químicas para a determinação de a) Macronutrientes e b) Micronutrientes, realizadas no Laboratório de Ciência de Solos da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ em Piracicaba São Paulo.

### 3.6.3 **Determinações das variáveis físicas**

As variáveis de natureza física determinadas nas amostras foram: a) Granulometria e b) Densidade do solo, executadas no Laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA.

### 3.7 METODOLOGIA UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

#### 3.7.1 Atividade respiratória dos microrganismos do solo

Foi determinada pela incubação do solo durante dez dias, sendo o CO<sub>2</sub> emanado das amostras, quantificado seguindo a metodologia proposta por Wolf et al (1952), na qual a quantidade de CO<sub>2</sub> absorvida numa solução de NaOH causa um decréscimo da condutividade elétrica dessa solução, pela formação de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Amostras de 20 gramas de solo juntamente com um béquer pequeno contendo 30 ml de solução de NaOH 0,5mol/L foram incubados em frascos de vidro com capacidade de 1,5 L hermeticamente fechados e guardados em ambiente escuro. Paralelamente foi realizado ensaio em branco utilizando-se três frascos contendo somente os béqueres com a solução de NaOH sem o solo. A cada 24 horas feitas leituras da condutividade elétrica a 28°C e renovação das soluções de NaOH tanto dos frascos com amostras quanto dos brancos. As soluções de NaOH 0,5 mol/l e Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0,25 mol/L foram preparadas no momento de uso.

Os íons CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> da condutividade elétrica (CE) (MOORE, 1972). A redução da CE é proporcional ao consumo de NaOH e, portanto à captura de CO<sub>2</sub>. A quantidade de CO<sub>2</sub> liberada foi determinada segundo Rodella e Saboya (1999), pela fórmula:

$$CO_2(mg) = \frac{(VolNaOH \times [NaOH] \times 22)(CENaOH - CEAmostra)}{CENaOH - CENa_2CO_3}$$

Onde:

Vol NaOH = volume adicionado nos frasquinhos – 30 mL

[NaOH] = concentração da soda padronizada

22 = massa molar CO<sub>2</sub>/2 = 44/2

CENaOH = leitura da soda do dia

CENa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = leitura do carbonato do dia

CE Amostra = leitura da amostra

### 3.7.2 Avaliação do C e N da biomassa microbiana

As amostras de solo tiveram o C e o N da biomassa microbiana (BM) quantificados pelo método da fumigação e extração (VANICE et al., 1987). Aproximadamente 10 g de solo (peso fresco) foram submetidos à fumigação em dessecador com clorofórmio livre de etanol durante 24 horas em câmara escura, extraídas em solução aquosa de  $K_2SO_4$  0,5 M e em seguida agitadas e centrifugadas a 3.500 rpm durante 5 minutos. Extraindo-se da solução sobrenadante volumes em duplicata de aproximadamente 20 mL e acondicionados paralelamente em frascos pequenos de vidro e de plástico que foram imediatamente armazenados respectivamente sob refrigeração e congelamento. As amostras não fumigadas foram pesadas ao mesmo tempo e mantidas refrigeradas durante a fumigação e extraídas ao mesmo tempo das amostras fumigadas.

O C da biomassa microbiana foi estimado pela diferença entre a quantidade extraída das amostras fumigadas e não fumigadas quantificadas, segundo Joergensen e Brookes (1990), pelo equipamento TOC Shimadzu 5000 A, que utiliza o mecanismo da combustão catalítica a 680°C, onde todo C da amostra é convertido em  $CO_2$  e detectado por uma célula infravermelha não dispersiva. Utilizou-se uma solução estoque de ftalato de potássio, com concentração equivalente a 1000 ppm de C, para elaborar curva padrão para leitura dos brancos nas concentrações ( 0 – 0,5 – 1,0 – 2,5) ppm, e curvas para leitura das amostras nas concentrações ( 0 – 10 – 25 – 100)ppm e ( 0 – 100 – 200 – 400) ppm. Obteve-se a quantificação de C microbiano diretamente em ppm.

Para estimar o N imobilizado na BM, utilizou-se o método da ninhidrina, onde a ninhidrina descarboxilada forma um complexo de cor violeta ao se unir com as substâncias do grupo  $\alpha$  – amino ( aminoácidos, proteínas, amônia e outros compostos  $\alpha$  – amino livre). Essa coloração é proporcional à concentração de N originado da célula microbiana e presente no extrato da amostra. Foram colocados 0,6 mL de extrato da amostra em tubos de ensaio onde foram adicionados 1,4 mL de ácido cítrico e 1 mL do reagente ninhidrina + hidridantina e aquecidos a 100°C durante 20 minutos. Após o resfriamento à temperatura ambiente foram juntados 4 mL de etanol. Em seguida à agitação dos tubos, foram realizadas leituras em aparelho FEMTO espectrofotômetro 600 à um comprimento de onda de 570nm.

Para quantificar o N foi feita uma curva de calibração com solução milimolar de L-leucina nas concentrações de 0 – 25 – 50 – 100 – 150 – 250 – 500 milimolar.

### 3.7.3 Quantificação de bactérias e fungos

A avaliação da população microbiana com capacidade crescimento *in vitro*, foi realizada pela técnica da contagem em placas, utilizando-se suspensões diluídas de solo para inocular um conjunto de três placas por cada diluição. Os meios de cultura empregados para contagem dos respectivos grupos de microrganismos foram, o meio de Thorton recomendado por Parkinson et al, (1971), para bactérias e meio de Martin segundo Wollum (1982), para fungos totais. As placas com os meios inoculados foram incubadas em temperatura de 28°C e avaliadas aos três dias para bactérias e aos sete para os fungos. Sendo as contagens expressadas em UFC (unidades formadoras de colônia)/ grama da amostra.

### 3.7.4 Identificação de fungos

Após a quantificação das colônias crescidas nos meios de Martin, foi realizado o isolamento dos predominantes através do cultivo sobre lâminas com o meio Agar batata dextrose. E em seguida, pela visualização microscópica das estruturas vegetativas e de reprodução foi feita a identificação dos gêneros de fungos.

### 3.7.5 Identificação de espécies bacterianas por métodos moleculares

As amostras de solo submetidas à análise molecular para identificação das espécies de bactérias foram coletadas em três parcelas de cada tratamento estudado (T1, T2, T3, T4 e T5) na profundidade de 10 cm. Após a coleta as amostras foram acondicionadas e armazenadas sob baixa temperatura (4°C) e enviadas imediatamente para o Laboratório de Celular e Molecular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, em Piracicaba- SP, onde passaram pelas seguintes etapas:

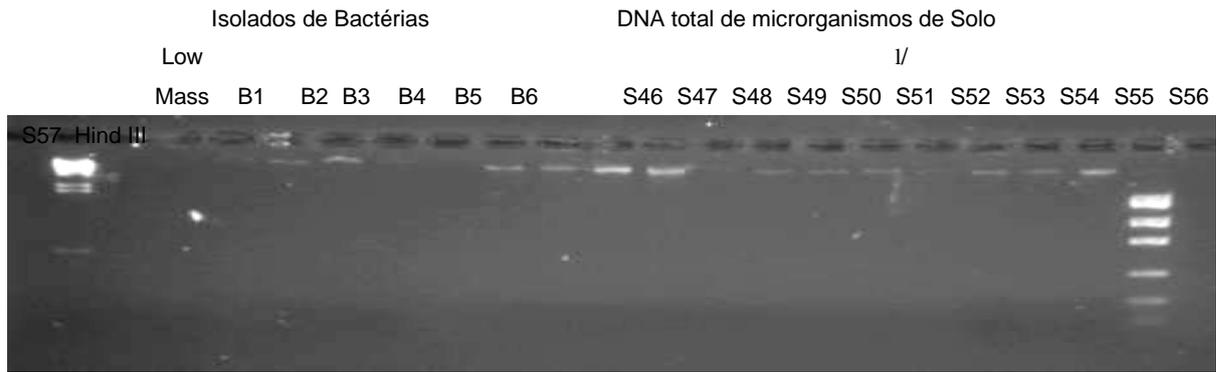
#### 3.7.5.1 Extração do DNA total do solo

A extração do DNA metagenômico do solo foi feita utilizando o Fast DNA ® Spin Kit for Soil (Q-Biogene). Foram pesados 0,6 g de solo e adicionados ao tubo matriz de lise, o

qual continha uma mistura de partículas de sílica e cerâmica moídas. Em seguida foram adicionados 978µl de tampão fosfato de sódio e 122 µl de tampão MT. Os tubos foram agitados horizontalmente por 30 segundos à velocidade  $4.0 \text{ m s}^{-1}$  em um Fast Prep FP 120 Cell Disruptor (Bio 101, Vista, Califórnia), e em seguida centrifugados a 13.000 g por 30 segundos. O sobrenadante foi transferido para um novo tubo limpo, onde se adicionou 250 µl de reagente PPS e o volume foi misturado sob agitação constante durante 2 minutos. Os tubos foram novamente centrifugados a 13.000 g por 5 minutos para peletizar o precipitado. O sobrenadante foi transferido para um tubo “Falcon”, onde foi adicionado 1 ml de uma solução matriz de sílica. Os tubos foram colocados em rotor durante 2 minutos, para que o DNA pudesse se ligar à solução matriz de sílica e, em seguida, foram deixados em repouso por 3 minutos. Um volume de 500 µl do sobrenadante foi descartado e o volume restante foi ressuspensão na solução matriz, sendo 600 µl deste volume transferidos para um tubo spin e centrifugados a 13.000 g durante 1 minuto. O volume de solução que passou pelo filtro foi descartado, o volume restante foi ressuspensão novamente e adicionado ao tubo spin, repetindo-se o mesmo procedimento. Um volume de 500 µl de solução de limpeza de etanol foi adicionado ao tubo spin e centrifugado a 13.000 g por minuto. Descartou-se o líquido que passou pelo tubo spin e estes foram novamente centrifugados por 2 minutos para eliminação do etanol residual. Colocando-se em seguida os tubos spin em tubos limpos e adicionou-se 100 µl de água ultrapura e livre de DNases, centrifugando-se a 13.000 g por 1 minuto para concentrar o pélete de DNA microbiano. Após a extração foi realizado a eletroforese em gel e o DNA extraído pode ser observado na Figura 11.

Os fragmentos amplificados foram separados por eletroforese em gel de agarose 1,5-2,0%, em tampão TAE, a 65 V, por 2,5 horas. As bandas resolvidas no gel foram visualizadas após coloração com brometo de etídeo, sob iluminação ultravioleta, e fotografada com filme Polaroid tipo 667.

O método de extração de DNA das amostras de solo da profundidade 10 cm dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, foi considerado adequado e rendimento suficiente para os procedimentos de amplificação por PCR. A Figura 12 evidencia o resultado da extração do DNA total.



Low Mass= Padrão de Massa e Padrão Molecular

I/Hind III= Padrão Molecular

**Figura 11** – Gel de agarose da quantificação do DNA total das amostras de solos na profundidade 10 cm dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, extraídos com o Kit PowerSoil DNA.

### 3.7.5.2 Amplificação do gene que codifica para o 16S rRNA

Para amplificação do gene 16S rDNA foram utilizados os seguintes oligonucleotídeos iniciadores para o domínio *Eubacteria* fd1 (5' – AGAGTTTGATCCTGGCTCAG- 3') e rD1 (5'- AAGGAGGTGATCCAGCC - 3') (WEISBURG et al., 1991). A amplificação foi feita em volume de 50 µl contendo 5 pmols de oligonucleotídeos iniciadores, 200µM de cada dNTP, 1 x tampão *Taq*, 1,5 mM de MgCl<sub>2</sub>, 2 U Platinum *Taq* DNA polimerase ( Invitrogen life Technologies, São Paulo, Brasil) e 50 ng de DNA molde.

A PCR foi realizada no termociclador de modelo GeneAmp PCR System 9700 – Applied Biosystem com o seguinte ciclo: 3 minutos de desnaturação a 94°C, seguidos de 30 ciclos de desnaturação a 94°C por 1 minuto, anelamento a 55°C por 30 segundos, extensão a 72°C por 30 segundos e extensão final a 72°C por 10 minutos. Uma alíquota de 5µl do produto da PCR foi analisada em gel de agarose 1%, utilizando como padrão de tamanho de DNA o marcador molecular 100pb (Invitrogen Life Technologies, São Paulo, Brasil). Os géis



e o precipitado foi secado no Concentrador de DNA por 10 min. e ressuspendido em 50  $\mu$ L de água ultrapura autoclavada. Agitou-se em vórtex seguido de um pulso na microcentrífuga; o material (5  $\mu$ L) foi colocado em gel de agarose 1% e o restante foi armazenado em freezer – 20°C até a próxima etapa.

#### 3.7.5.4 Sequenciamento do gene 16s rRNA

A PCR de sequenciamento dos fragmentos foi feita através do Kit de Sequenciamento DYEnamic ET Terminator Cycle (Amersham Biosciences, Inglaterra, UK). A reação foi para um volume final de 10  $\mu$ L onde foram utilizados 200 ng dos fragmentos de interesse; 5 pmoles de oligonucleotídeos iniciadores; 2,0  $\mu$ L de tampão 2,5 X; 2,0  $\mu$ L de DYEnamic ET Terminator Cycle. Os oligonucleotídeos iniciadores utilizados foram: rD1 e fD1, além dos conjuntos de oligonucleotídeos internos descritos na Tabela 2, visando o fechamento da seqüência do gene 16S rRNA. As condições de amplificação para o iniciador T7 foram: 2 min. de desnaturação a 96°C, seguidos de 25 ciclos com desnaturação a 96°C por 45 seg., anelamento a 50°C por 30 seg., extensão a 60°C por 4 min., enquanto que para os demais iniciadores tais condições encontram-se a seguir: 4 min. de desnaturação a 94°C, seguidos de 25 ciclos com desnaturação a 94°C, por 1 min.; anelamento a 55°C por 30 seg. e extensão a 60°C por 4 min.

**Tabela 2** - Seqüências dos oligonucleotídeos iniciadores internos para amplificação do gene.

<b>Seqüência (5'-3')</b>	<b>Posição de alinhamento na seqüência de <i>E. coli</i></b>
AGA GTT TGA TCC TGC CTC AG	8-28FDI eubactéria
AAG GAG GTG ATC CAG CC	1526-1542RDI eubactéria
CCT ACG GGA GGC AGC AG	341-357F
CTG CTG CCT CCC GTA GG	357R
GTA G(GC)G GTG AAA T(GC)C GTA GA	685-704F
TCT ACG SAT TTC ACC (GC) CT AC	704R
GCA ACG AGC GCA ACC C	1099-1114F
GGG TTG CGC TCG TTG C	1114R

Após a amplificação dos fragmentos de interesse, procedeu-se a precipitação para a eliminação dos dNTPs que não foram incorporados. Foram adicionados 1  $\mu$ L de Tampão

Acetato de Sódio/EDTA, mais 40 µL Etanol a 95% (recém preparado). Após a homogeneização por agitação, os tubos foram centrifugados a 12.000 rpm, por 15 minutos, a temperatura ambiente. O sobrenadante foi descartado e 500 µL de etanol 70% foram adicionados. Após a homogeneização, as amostras foram centrifugadas por 5 min. a 12.000rpm. O sobrenadante foi descartado e o precipitado incubado por 5 min. a 40°C para secagem. Em seguida o precipitado foi ressuscitado em 10 µL de formamida (HiDi formamida – Applied Biosystems) em microplacas. A microplaca foi colocada em um termociclador para a desnaturação do DNA a 96°C durante 5 min. e imediatamente colocada no gelo por 2 min. A leitura das bases marcadas foi realizada no Seqüenciador Automático ABI Prism 3100 Genetic Analyser.

#### 3.7.5.5 Processamento e análise filogenética das seqüências obtidas

As seqüências geradas foram processadas removendo-se as bases de baixa qualidade (<20) através dos programas Phred/Phrap/Consed em sistema operacional Linux (EWING et al., 1998). As seqüências obtidas foram comparadas com outras seqüências previamente depositadas no GenBank do National Center for Biotechnology Information (NCBI), utilizando-se a ferramenta Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) (ALTSCHUL et al., 1990).

### 3.8 METODOLOGIA UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS

A determinação dos macro e micro nutrientes foi realizada de acordo com a metodologia do INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, IAC (2001).

A quantificação do carbono orgânico total e do nitrogênio total foi realizada segundo EMBRAPA (1997).

### 3.9 METODOLOGIA UTILIZADA NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS

A determinação da granulometria do solo foi realizada pelo método da pipeta, com a T.F.S.A (Terra fina seca ao ar), separando-se as frações com peneiras das seguintes malhas: <0,002mm (Argila), 0,002 a 0,053mm (Silte), 0,053 a 0,mm (Areia fina) e 0,2 a 2mm (Areia grossa).

A umidade gravimétrica do solo e a densidade das amostras estudadas foram determinadas de acordo com EMBRAPA (1997).

### 3.10 METODOLOGIA ESTATÍSTICA

Para a análise de variância considerou-se o seguinte modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

$Y_{ij}$  = Variáveis de resposta

$\mu$  = Média geral do experimento

$\tau_i$  = Efeito do fator do sistema de cultivo

$\beta_j$  = Efeito do fator profundidade

$(\tau\beta)_{ij}$  = Efeito da interação dos fatores

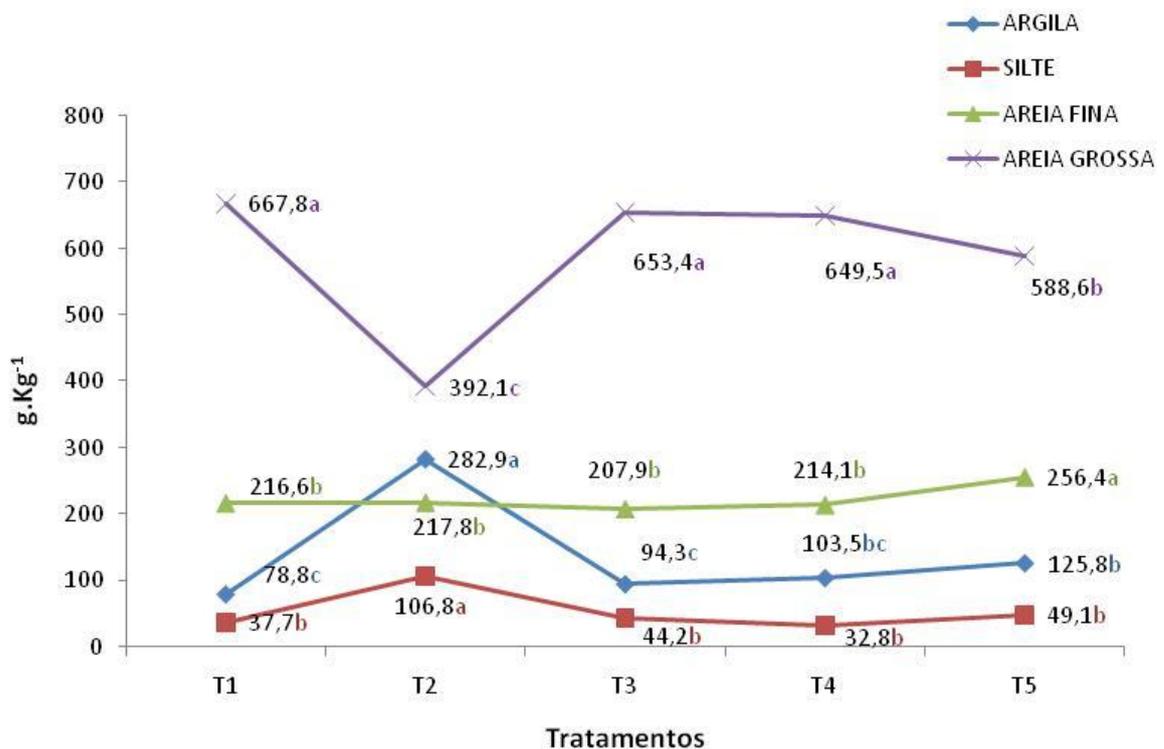
$\varepsilon_{ij}$  = Componente aleatório: erro experimental

A comparação das médias foi realizada através do teste Student Newman Kuels (SNK), ao nível de 5% de probabilidade.

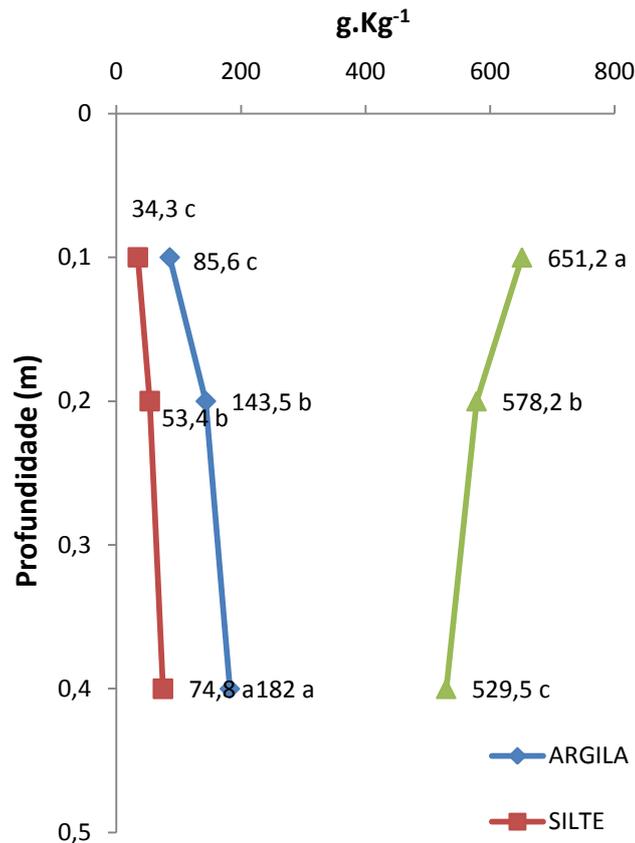
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 INDICADORES FÍSICOS

Os solos das áreas estudadas, de acordo com Embrapa (1999), são classificados como arenosos e médios, considerando os teores de argila e silte encontrados. De maneira geral, os dados obtidos neste estudo para os parâmetros físicos revelaram diferenças significativas entre os tipos de coberturas e entre as profundidades avaliadas, como pode ser visualizado nas Figuras 13 e 14. Os teores de argila situaram-se ente 78,8 a 282,9%, tendo-se observado um gradativo e significativo aumento nas camadas inferiores do solo. O monocultivo florestal com a espécie paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* HUBER ex DUCKE) destacou-se entre os demais por apresentar os maiores teores de argila e silte, o que provavelmente esteja relacionado a uma mancha de solo mais argilosa na área.

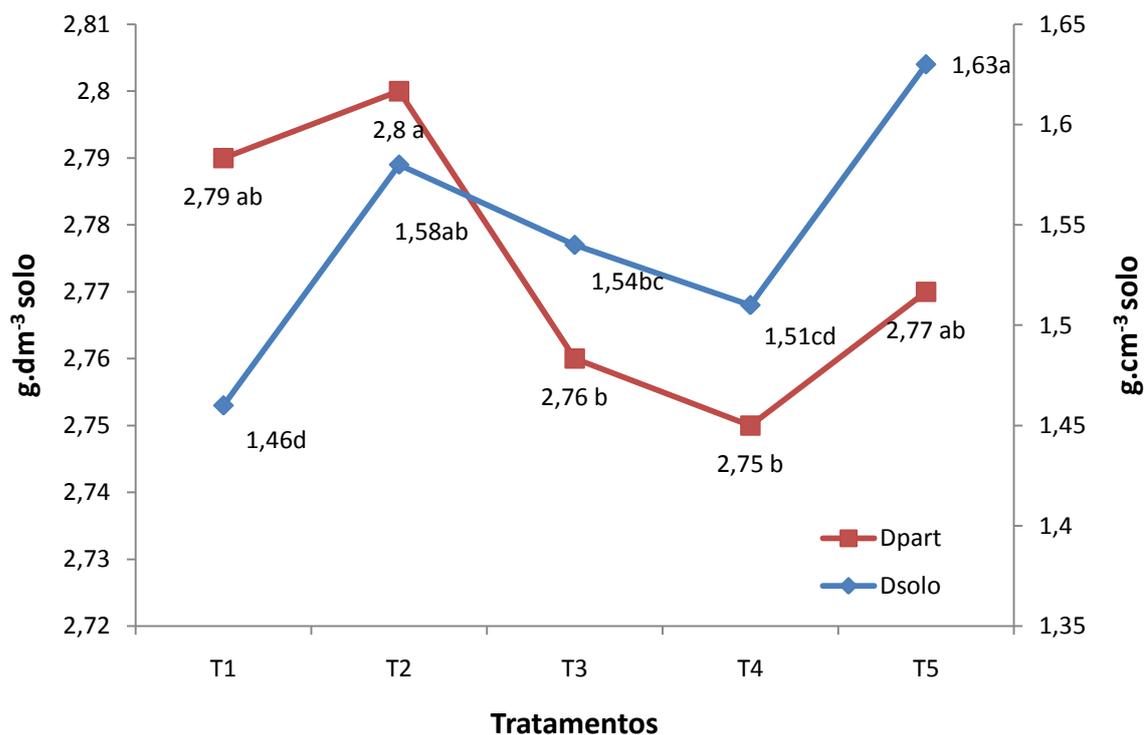


**Figura 13** – Teor de argila, silte, areia fina e areia grossa nos solos sob os tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.



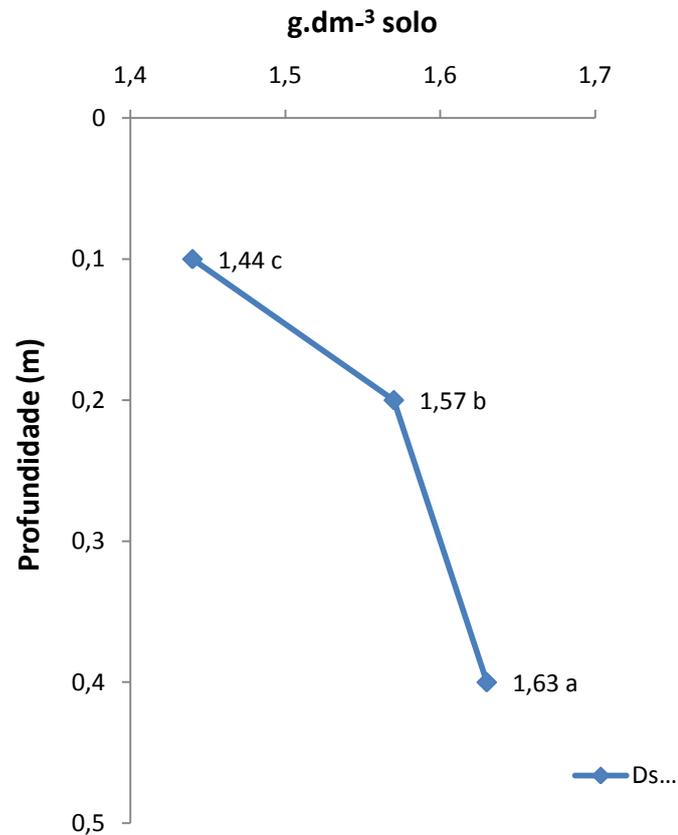
**Figura 14** – Efeito da profundidade de amostragem no teor de argila, silte e areia grossa em solos sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina em Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

O teor de argila é importante por influenciar diretamente na disponibilidade de água e nas condições químicas como CTC e matéria orgânica. Solos com menor teor de argila apresentam menor disponibilidade de água; porém isso não significa que os solos com teor de argila mais elevado disponibiliza maior volume de água. Como exemplo disso, os Latossolos argilosos e Latossolos muito argilosos, possuem reduzida disponibilidade hídrica devido a sua estrutura e principalmente, a forte microagregação da fração argila, ressecando o solo em poucas horas (PRADO, 2005). Com relação aos teores de areia fina e areia grossa, percebe-se que a capoeira apresentou proporcionalmente, o maior teor de areia fina, enquanto o monocultivo florestal possui menor teor de areia grossa dentre os demais tratamentos.



**Figura 15** – Valor da densidade de partícula (Dpart) e densidade do solo (Dsolo), nos solos sob os tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Os valores de densidade do solo mostrados na Figura 15, variaram de 1,4 a 1,6 g.cm<sup>3</sup>, e são provavelmente devido ao histórico do uso da área, que anteriormente suportou o cultivo de pastagens. Podendo, portanto ser resultante do pisoteio de animais, máquinas e implementos, que se refletiram ao longo do perfil desses solos, causando o adensamento das camadas estudadas, como demonstraram Kondo e Dias Junior (1999), em estudos sobre os efeitos dos pisoteios dos animais em solos, quando submetidos ao cultivo de pastagens. Os valores da Ds, em todos os sistemas estudados, encontram-se entre aqueles relatados como limitantes ou com potencial de causar dificuldades ao crescimento radicular e, conseqüentemente, ao pleno desenvolvimento das culturas (CAMARGO e ALLEONI, 1997). Entretanto, deve-se ressaltar, que apesar dos valores de Ds verificados neste estudo, constatou-se através de avaliações visuais, bom desempenho no desenvolvimento de todas as espécies vegetais, que apresentaram crescimento considerado bastante satisfatório.

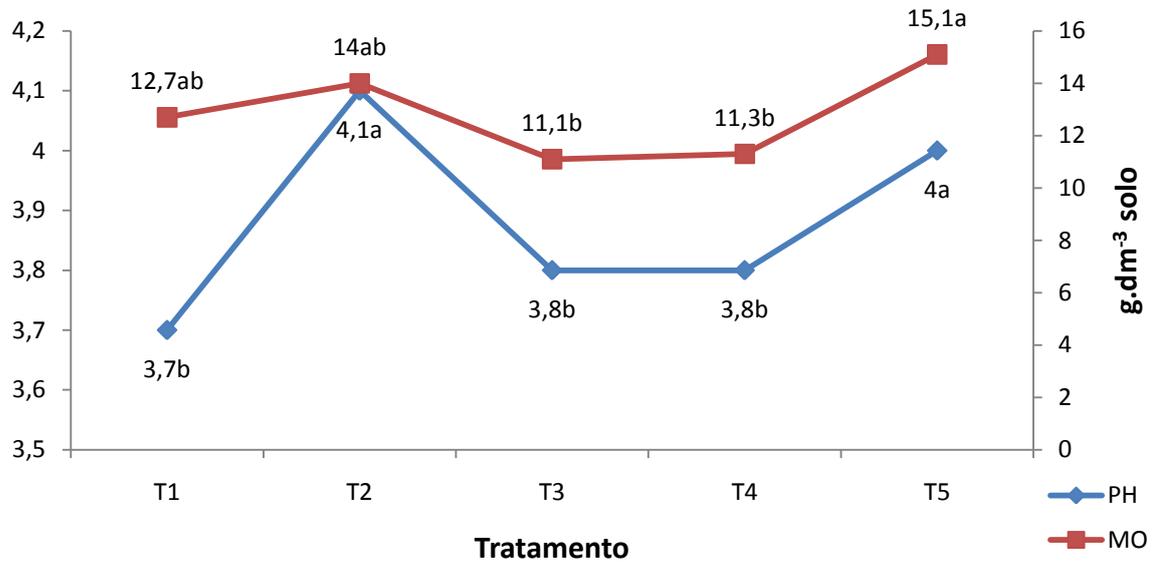


**Figura 16** - Efeito da profundidade de amostragem no valor da densidade do solo (Dsolo) em solos sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina em Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

#### 4.2 INDICADORES QUÍMICOS

De acordo com a análise de variância, os valores encontrados para pH (CaCl<sub>2</sub>) diferiram estatisticamente entre os tratamentos estudados, não sendo observadas diferenças com relação às profundidades amostradas. No tratamento 2, representado pelo monocultivo florestal com a espécie paricá e o tratamento 5 correspondente à capoeira os valores de pH foram semelhantes, enquanto nos tratamentos 1, 3 e 4 representados pelos monocultivo agrícola, sistemas agroflorestais com as espécies mogno, freijó, paricá e curauá respectivamente, os resultados foram estatisticamente semelhantes.

Neste estudo os valores encontrados para pH variaram de 3,7 a 4,1 que são considerados típicos para solos ácidos como os Latossolos amazônicos. Êstes valores estão de acordo os observados por Rodrigues (2006) em Aurora do Pará (PA) e por Melo (2007), durante estudos de solos sob pastagem na Amazônia oriental e ainda Falesi e Galeão (2004), estudando solos da região amazônica.

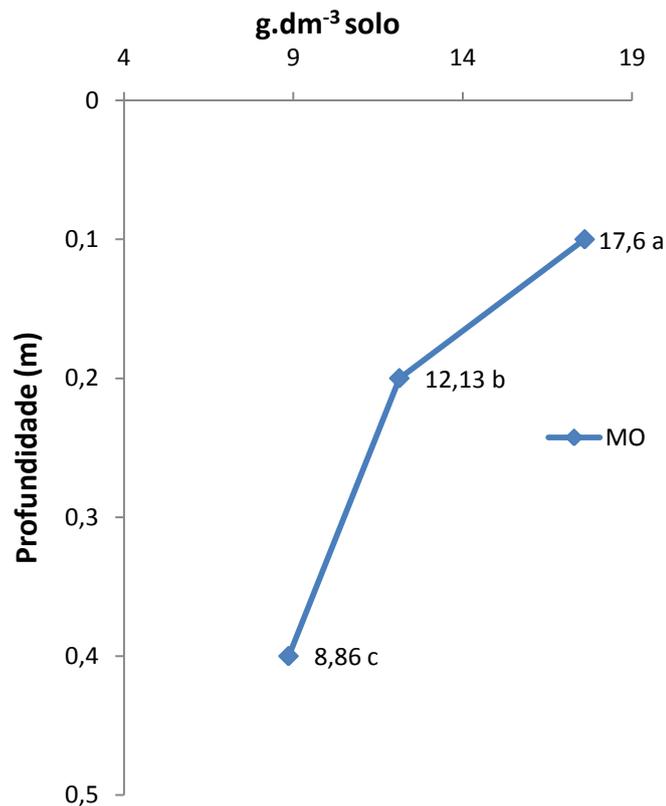


**Figura 17** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos sobre o pH e a matéria orgânica (MO) dos solos. Campo experimental da Tramontina em Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Os menores valores de pH foram detectados no monocultivo agrícola com a espécie curauá, sugerindo um maior efeito da mineralização da matéria orgânica, o que proporciona a liberação de cátions nas camadas do solo. Segundo Sanchez (1976), a concentração de átomos de hidrogênio resulta na redução do pH do solo. Os sistemas representados pelo monocultivo florestal com a espécie paricá e a capoeira mostraram os valores mais elevados de pH, o que pode ter sua explicação na neutralização da acidez pelos cátions básicos  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e ainda pelos valores de soma de bases (SB), encontrados em maiores concentrações nesses sistemas.

A análise de variância mostrou diferenças significativas no teor de MO entre os tratamentos estudados, o que pode ser constatado pela visualização da Figura 17, onde

percebe-se que os tratamentos 2 e 5, correspondentes ao monocultivo florestal com a espécie paricá e à capoeira respectivamente, apresentaram os maiores teores de MO. E nos tratamentos 1, 3 e 4 que correspondem ao monocultivo agrícola, sistema agroflorestal com as espécies paricá, mogno, freijó e curauá e o sistema agroflorestal com as espécies paricá e curauá respectivamente, os teores de MO foram menores e estatisticamente semelhantes



**Figura 18** – Efeito da profundidade de amostragem no teor de matéria orgânica no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará(PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

As diferenças no conteúdo de MO entre os tratamentos estudados pode ter explicações diferenciadas. Os solos sob a capoeira e o monocultivo florestal foram os que mostraram os maiores valores. No caso da capoeira, possivelmente a superioridade deve-se à diversidade e quantidade de vegetação originada no processo e regeneração das espécies nativas, que proporcionam um maior aporte de biomassa ao solo. No monocultivo com a espécie paricá o valor de MO poderia ser justificado por uma baixa taxa de mineralização da

serapilheira, conforme expõe Tomé (1997), o teor de matéria orgânica do solo é resultado do balanço entre os processos de adição do material orgânico e as perdas resultantes da decomposição desses materiais pelos microrganismos. Outra explicação estaria relacionada com uma menor demanda de nutrientes da espécie arbórea em monocultivo e inexistência de competição com outra espécie. Para Rasmussen e Collins (1991), o teor de MO em solos cultivados muda lentamente com o tempo, conforme o manejo e as diferenças são difíceis de detectar a curto prazo.

Contrariando as expectativas, os solos sob os tratamentos 3 e 4 representados pelos sistemas agroflorestal com as espécies mogno, freijó, paricá e curauá e pelo sistema agroflorestal com as espécies paricá e curauá, apresentaram os menores teores de MO. Uma provável explicação para o fato, é que esses resultados podem ser reflexo de uma maior mineralização da matéria orgânica, decorrente das demandas por nutrientes das espécies componentes desses sistemas e também pela competição entre estas. As diferentes espécies vegetais produzem maior variação na composição da MO, o que pode estimular a ação de uma população microbiana mais diversificada e como consequência haver maior transformação da matéria orgânica (CERRI,1989)

Ainda pode ser considerada a possibilidade que tenha ocorrido um maior seqüestro de carbono nesses tratamentos, visto que os sistemas agroflorestais atualmente vêm representando boas alternativas para capturar o carbono da atmosfera, fato esse confirmado pelos resultados obtidos por Santos (2007), que estudou o incremento do seqüestro de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto, onde foi constatado um estoque de carbono de 97 ton. ha<sup>-1</sup> para *E.citriodora* aos 4 anos e 128 ton. ha<sup>-1</sup> aos 8 anos.

Os valores de MO encontrados neste estudo apresentam semelhanças aos obtidos por Batista et al, (2005), em avaliação da recuperação de um Latossolo Amarelo sob sistema agroflorestal e também com os obtidos por Rodrigues (2006) durante estudo realizado em solo sob sistemas agroflorestais com *Melliaceas*. Esses trabalhos foram desenvolvidos na região Nordeste do Pará, mesma área onde foi realizada a presente pesquisa.

De maneira geral, neste estudo verificou-se que houve variação do teor de MO nos solos sob as coberturas vegetais avaliadas, assim como sua redução com o aumento de profundidade em todos os sistemas estudados, o que está evidenciado nas Figuras 17 e 18. Este decréscimo foi também observado por Moraes (1991) que encontrou índices de carbono e nitrogênio concentrados em sua maioria na camada superficial em solos da Amazônia. Os maiores valores de MO na camada de 0-10 cm e decréscimo desta com o aumento de profundidade nos solos amazônicos é justificado por Demattê e Demattê (1993), como sendo

o resultado da maior deposição de folhas, galhos e serapilheira na superfície do solo, já que a contribuição do sistema radicular é pequeno devido provavelmente, ao hábito pivotante das espécies vegetais que dominam na região.

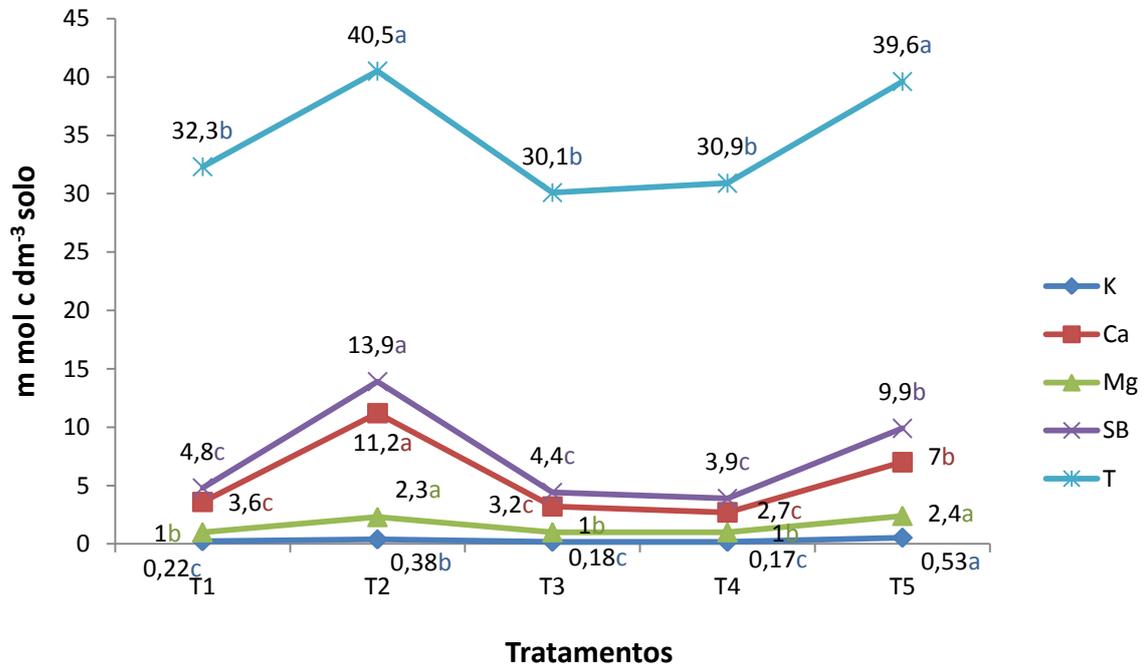
O teor de fósforo, um dos elementos limitantes nos solos da Amazônia, de S e de Al não apresentaram diferenças estatísticas entre os sistemas estudados, evidenciando que o tipo de cobertura vegetal não influenciou na distribuição desses elementos nos solos. Somente o P, apresentou diferenças estatísticas com relação ao perfil do solo, onde os valores obtidos para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm diferiram dos teores referentes a 20-40cm.

Alguns estudos mostram que o acúmulo de fósforo na camada superficial dos solos deve-se à pouca mobilidade e baixa solubilidade de seus compostos, de forma mais acentuada em solos de natureza ácida, que apresentam altos teores de óxidos de ferro e alumínio (CARDOSO et al., 1992; SANTOS et al., 2003). E ainda, segundo Tomé Jr (1997), o teor de P disponível tende a diminuir nos horizontes mais profundos do solo acompanhando o teor de matéria orgânica. O acúmulo de fósforo próximo à superfície do solo, foi logicamente decorrente da liberação durante a decomposição dos resíduos das plantas e diminuição da fixação em decorrência do menor contato deste elemento com os constituintes inorgânicos do solo (MUZILLI, 1981).

Os teores de fósforo obtidos por Rodrigues (2006); Batista (2005); Melo (2007) em trabalhos realizados em diferentes sistemas de manejo na região amazônica, corroboram os resultados constatados para este elemento nos solos sob as coberturas vegetais avaliadas neste estudo.

Os valores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  encontrados diferiram estatisticamente ( $P < 0,01$ ), de forma semelhante, tanto em relação aos tipos de coberturas vegetais como também quanto às profundidades avaliadas neste estudo como mostram as Figuras 19 e 20. Os solos sob os tratamentos 2 e 5 relativos ao monocultivo florestal e a capoeira, mostraram valores desses cátions trocáveis sistematicamente superiores aos outros tratamentos, o que possivelmente, pode estar relacionado com os maiores valores de matéria orgânica presentes nesses tratamentos, assim como aos valores mais altos de pH observados nos mesmos. Estudos evolutivos dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  realizados por Souza (2000), evidenciaram que após a adição continuada de matéria orgânica, esses dois elementos tiveram um incremento de aproximadamente 100%. As maiores concentrações foram encontradas na profundidade de 10 cm, sendo que para  $Mg^{2+}$  os tratamentos 1,3 e 4 apresentaram valores iguais em todas as profundidades, mostrando uma distribuição homogênea ao longo do perfil do solo. Os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  estão estreitamente relacionados com o nível de acidez do solo. Em baixos

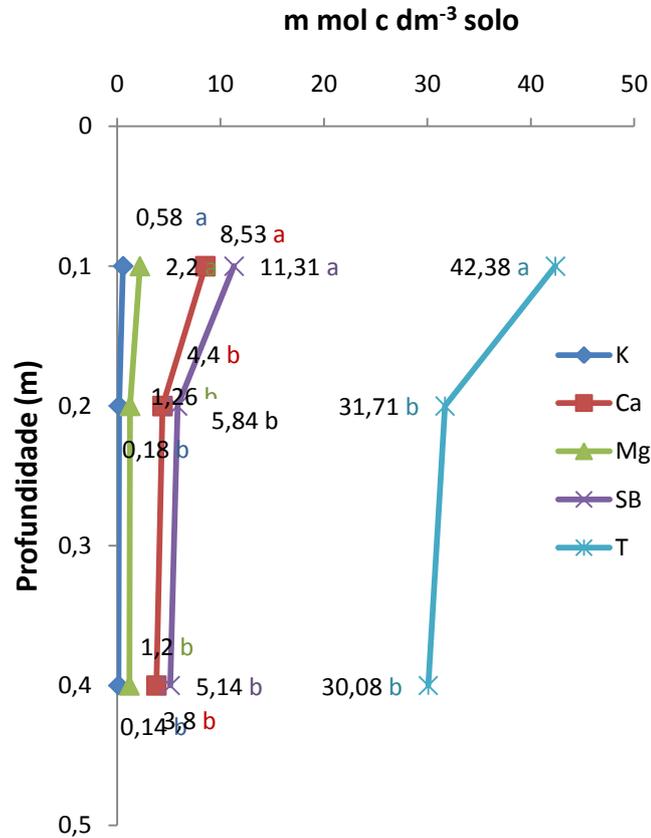
valores de pH as cargas negativas do solo são ocupadas pelo  $H^+$  impedindo as trocas de cátions que são perdidos através da lixiviação (TOMÉ Jr, 1997).



**Figura 19** – Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos sobre o teor dos cátions  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (T) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Com relação ao  $Al^{3+}$ , não foram observadas diferenças significativas nos teores deste elemento, tanto entre os tratamentos quanto às profundidades avaliadas neste estudo. Os maiores valores referem-se aos tratamentos 3 e 4, que correspondem aos sistemas agroflorestais com as espécies paricá, freijó, mogno e curauá. Entretanto, os resultados obtidos para a saturação por Al (m%) foram estatisticamente diferentes entre os tipos de manejo e as profundidades analisadas. Este fato mostra que, possivelmente o tipo de cobertura vegetal tenha influenciado na proporção que o  $Al^{3+}$  ocupou na C.T.C Efetiva (m%). A Figura 21 evidencia que os valores de m% variaram de 37,4 a 68,4  $m\ mol\ c\ dm^{-3}$ , sendo os menores encontrados no monocultivo florestal com a espécie paricá e os maiores no sistema agroflorestal com as espécies paricá e curauá. O Al inibe o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes. E, devido à toxidez do  $Al^{3+}$  para as plantas, a presença deste elemento em altas concentrações representa um fator limitante na fertilidade

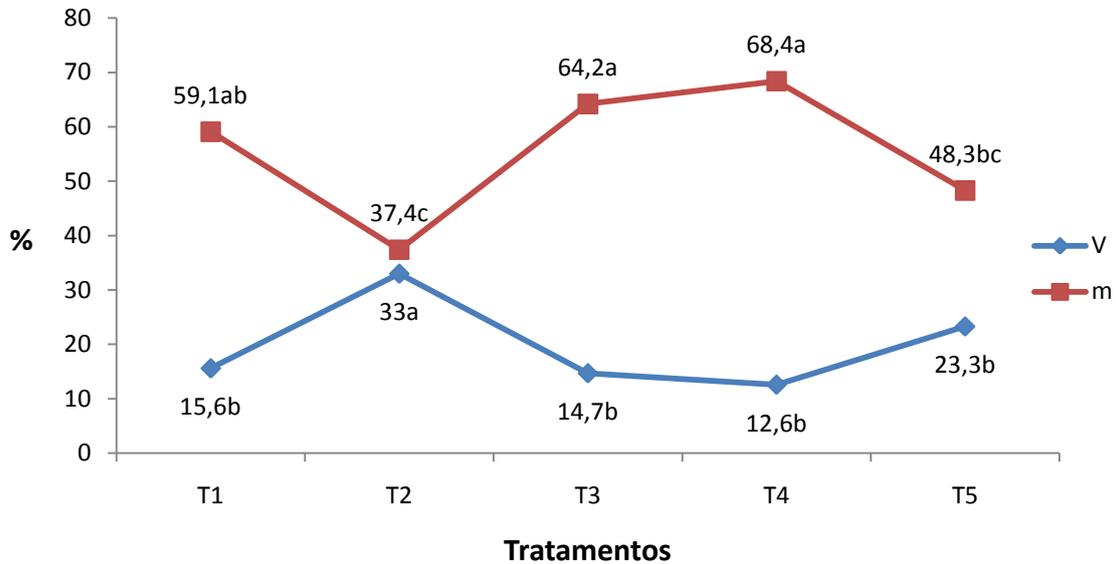
dos solos, o que suporta Tomé Jr. (1997), onde solos com valores de  $m \geq 50\%$  são considerados muito pobres.



**Figura 20** - Efeito da profundidade de amostragem no teor dos cátions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (T) no solo sob os tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Ao confrontarmos os nossos resultados de  $\text{Al}^{3+}$  e  $m\%$  nos tratamentos 3 e 4 que correspondem aos sistemas agroflorestais formado pelas espécies paricá, mogno, freijó e curauá, com os valores de biomassa aérea da espécie arbórea paricá obtidos por Cordeiro (2007), em estudos realizados nesses mesmos tratamentos, para avaliar o desempenho desta espécie, foi constatado um considerável acréscimo no diâmetro à 1,30 m do nível do solo (DAP). Diante disso, percebe-se que os altos teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $m\%$ , parecem não ter influenciado de forma negativa no crescimento das plantas, o que nos leva a sugerir que essas espécies vegetais possam provavelmente, ser tolerantes a baixos valores de pH e ao alumínio. Em variedades de plantas ácido-resistentes, o mecanismo utilizado em resposta à

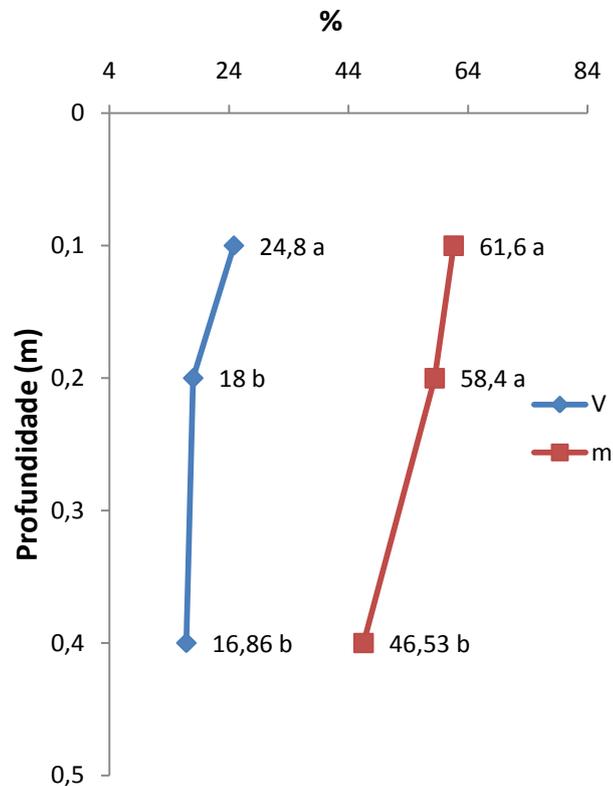
toxicidade do alumínio é a exudação pelo ápice de suas raízes, de compostos orgânicos, que ligam-se rapidamente ao Al formando complexos orgânicos estáveis, e reduzindo assim a concentração desse elemento na rizosfera (WONG et al., 2004).



**Figura 21** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos sobre saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Os resultados obtidos para soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases (V%), apresentaram diferenças altamente significativas entre todos os tratamentos e profundidades avaliados, mostrando com isso, que o tipo de cobertura vegetal influenciou na proporção de ocupação das cargas negativas do solo pelos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$ . Os valores de SB, T e V% variaram de 3,9 a 13,9  $\text{m mol c dm}^{-3}$ ; 30,1 a 40,5  $\text{m mol c dm}^{-3}$  e de 12,6 a 33,0% respectivamente. Sendo observado que os maiores teores de todos estes, foram encontrados nos tratamentos T2 e T5 correspondentes ao monocultivo florestal e à capoeira, onde também os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$  estavam em maiores concentrações, mantendo assim uma esperada correspondência entre estas variáveis. As Figuras 20 e 22 mostra que com o aumento da profundidade ocorreu um gradativo decréscimo dos valores de SB, T e V% nos solos de todos os tratamentos, o que pode ser devido à redução do conteúdo da matéria orgânica ao longo do perfil do solo. Segundo Tomé Jr.(1997), a saturação por bases e a soma de bases são considerados excelentes indicativos das condições gerais de

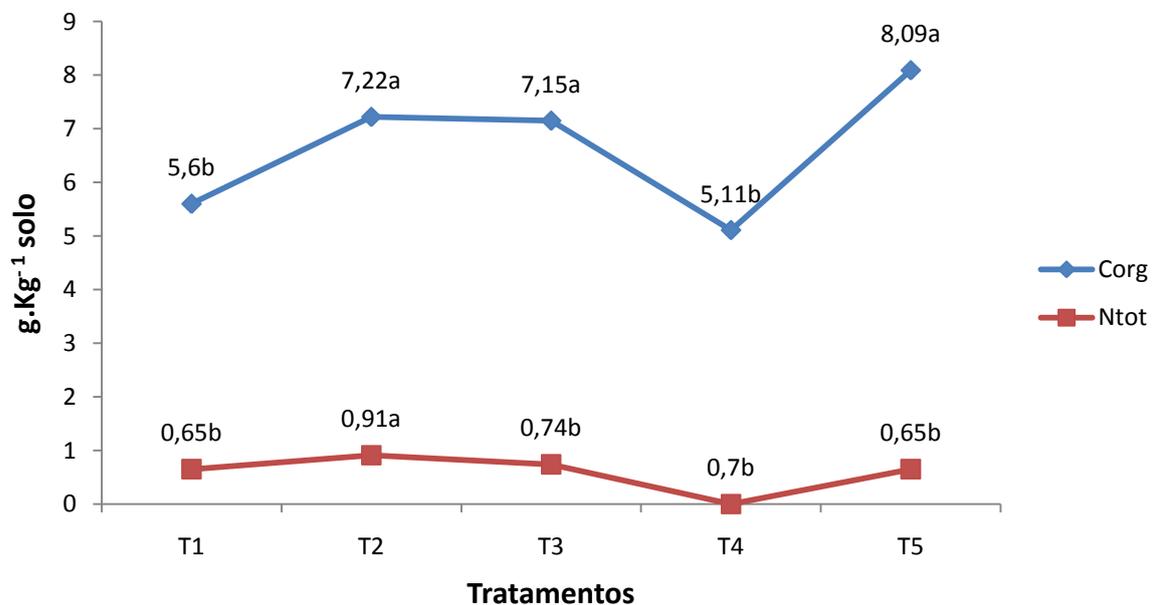
fertilidade do solo, e valores de V% <50% classificam os solos como pouco férteis, sendo portanto, o caso dos solos deste experimento.



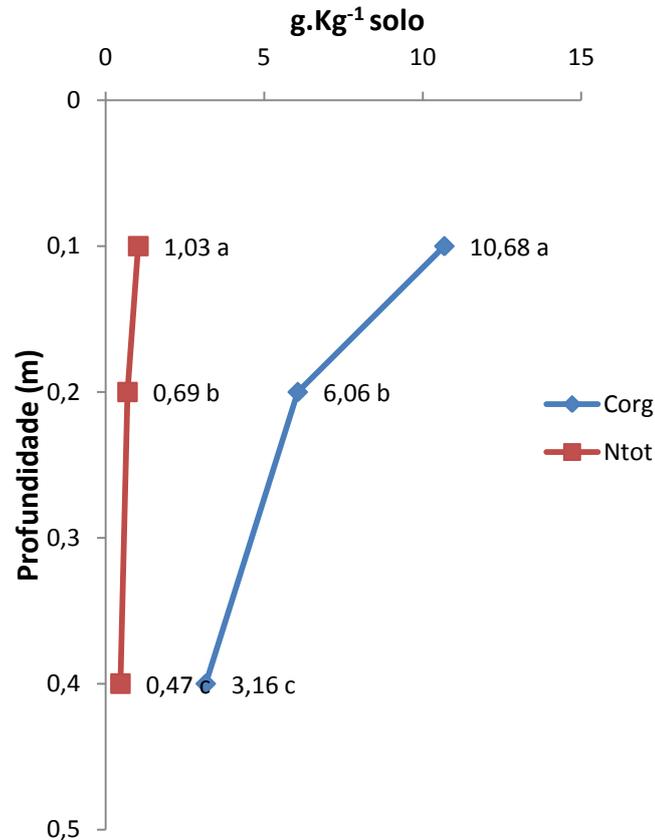
**Figura 22** - Efeito da profundidade de amostragem no valor de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

De maneira geral, os nossos resultados para a capacidade de troca de cátions na capoeira e nos sistemas agroflorestais, são semelhantes aos encontrados por Melo (2007) e Rodrigues (2006), em estudos realizados em solos sob diferentes sistemas de manejo no nordeste do Pará. Para Lopes (1983), os solos com valores de T entre 10 e 50  $\text{m mol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ , são em sua maioria compostos por alta percentagem de areia e/ou baixo teor de matéria orgânica, podendo ainda apresentar alta lixiviação de N e P. Enquanto Tanaka et al, (1989), considera que devido a caulinita dos solos da região Amazônica ser formada por grandes cristais, a capacidade de troca de cátions tende a ser menor.

Os valores de C orgânico e N total encontrados neste estudo, apresentaram diferenças altamente significativa ( $P < 0,01$ ), entre os tratamentos e profundidades avaliados. Os intervalos de variação para o C orgânico e o N total foram de 5,11 a 8,09 e 0,65 a 0,91  $\text{g.kg}^{-1}$  de solo, respectivamente. Pode-se verificar pela visualização da Figura 23, que os tratamentos 2 e 5 possuem os teores mais elevados de C e o tratamento 4 mostrou o menor valor. Esses resultados refletem o conteúdo de MO, que nesses tratamentos, tiveram comportamento similar. Com relação ao N total, o tratamento 2, apresentou maior teor, seguidos dos tratamentos 4 e 5. Em todos os tratamentos, independentemente do tipo de cobertura vegetal, a camada de 0-10 cm apresentou os maiores teores de N e de C, com diminuição significativa nas mais profundas como mostrado na Figura 24. Estes resultados corroboram os de Cerri (1989), que em solos da Bacia Amazônica, observou que a maior parte do N total encontra-se estocada na camada de 0-20 cm de profundidade. O conteúdo de N e de C são bastante variáveis, por estarem concentrados na camada superficial do solo, a qual sofre influência da serapilheira. Essas variações podem ainda ocorrer em razão de uma série de fatores, como clima, pH, atividade microbiana, propriedades físicas do solo e manejo (JENNY, 1941; LONGO, 1999).



**Figura 23** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos no teor de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (Nt) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.



**Figura 24** - Efeito da profundidade de amostragem no teor de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (Nt) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

O maior teor de C orgânico no tratamento 5, pode ser explicado pela tendência de maior equilíbrio desse sistema caracterizado pela regeneração espontânea das várias espécies vegetais originais. O que implica em um balanço entre as taxas médias de entrada de carbono no solo, via resíduo vegetal e a conseqüente decomposição pela microbiota, e as taxas médias de mineralização do material orgânico do solo (SANTOS et al., 2004).

Pela análise dos indicadores químicos verifica-se que dentre os tratamentos avaliados, o monocultivo florestal com a espécie paricá, apresentou os melhores valores para os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , carbono orgânico (CO), nitrogênio total (Nt), matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (T), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

### 4.3 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

#### 4.3.1 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

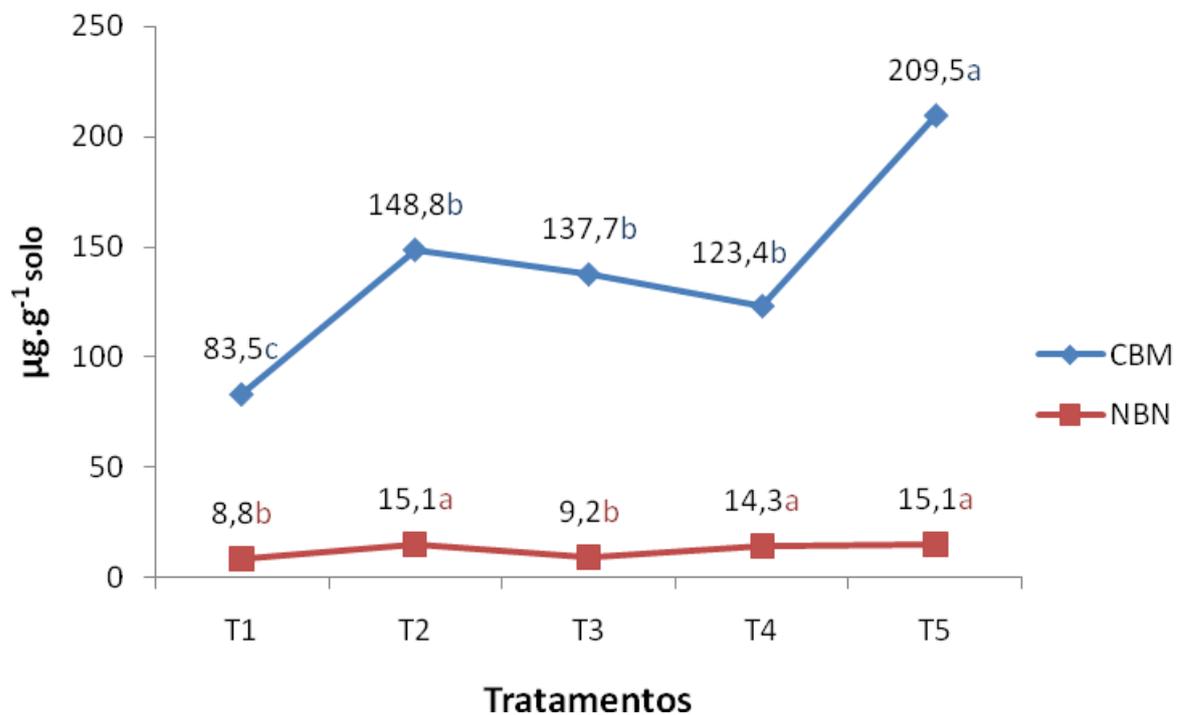
Para o carbono da biomassa microbiana (CBM), a análise de variância mostrou que os valores obtidos foram estatisticamente diferentes ( $P < 0,01$ ), entre os tratamentos estudados. Através da visualização da Figura 25, pode-se verificar que os resultados variaram de 83,5 a 209,5  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de solo. O maior valor de CBM, refere-se ao solo sob o tratamento 5 (capoeira), e o menor ao solo sob tratamento 1 (monocultivo agrícola), enquanto que os solos sob os tratamentos 2 (monocultivo florestal), 3 e 4 (sistemas agroflorestais) os valores não diferiram entre si. Na capoeira, a maior incorporação de C pela biomassa microbiana, provavelmente deve-se às condições edafoclimáticas desse sistema, visto que segundo Gama-Rodrigues et al, (1997), a regeneração natural de espécies originais promove a melhoria da qualidade da serapilheira estimulando o aumento da biomassa microbiana. Além disso, o sistema radicular das diversificadas espécies vegetais, contribuem para o efeito rizosférico, proporcionando uma maior disponibilidade de substrato orgânico para a microbiota do solo (MATSUOKA, 2003). No tratamento 1 (monocultivo agrícola), o menor teor de CBM pode ser justificado por uma alta atividade metabólica durante a mineralização da matéria orgânica, o que provocaria maior perda de C do sistema, reduzindo assim a imobilização pela biomassa microbiana.

Os valores de CBM nos tratamentos 2, 3 e 4 não diferiram significativamente ( $P < 0,05$ ) entre si, situando-se entre o da capoeira e o monocultivo agrícola. A similaridade entre esses resultados pode estar relacionado com o fato dos sistemas estudados, serem constituídos de espécies vegetais semelhantes.

#### 4.3.2 Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)

Em relação aos teores de N imobilizados na biomassa microbiana, os resultados mostraram que os mesmos diferiram estatisticamente entre as diferentes coberturas vegetais. Os teores obtidos variaram no intervalo de 8,8 a 15,1  $\mu\text{g.g}^{-1}$  solo, e correspondem aos tratamentos 1 (monocultivo agrícola) e o tratamento 5 (capoeira) respectivamente. Comparando-se os tratamentos em relação aos valores do NBM encontrados, verifica-se através da Figura 25, que houve semelhança entre os tratamentos 2, 5 e 4, assim como entre

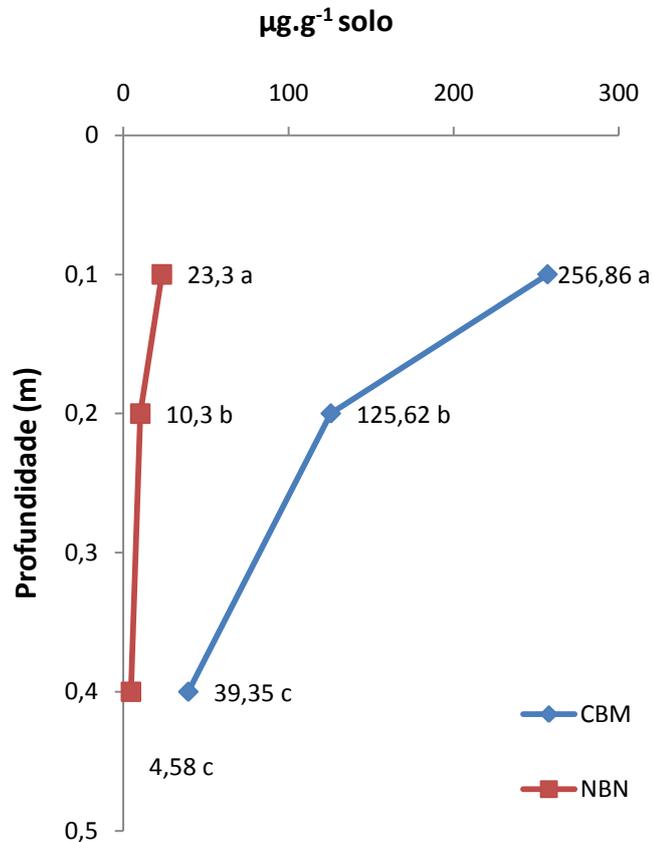
os tratamentos 1 e 3. Para Gama- Rodrigues (1999), em solos com uma cobertura vegetal pobre em N, a taxa de decomposição da matéria orgânica tende a ser menor, propiciando a imobilização do N pela biomassa microbiana como um compartimento de reserva. Assim sendo, pode-se sugerir, que possivelmente as coberturas vegetais dos tratamentos 5, 4 e 2, possuem menor teor de nitrogênio, estimulando maior imobilização do N na biomassa microbiana.



**Figura 25** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos no carbono da biomassa microbiana (CBM) e no nitrogênio da biomassa microbiana (NBN) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Enquanto nos tratamentos 1 e 3, a indicação de cobertura vegetal mais rica em nitrogênio, tenha resultado em menores teores de NBN; pois esse elemento estaria em quantidades suficientes para atender à atividade metabólica dos microrganismos e ao processo de decomposição da matéria, conforme o observado por Venzke Filho (1999). Com relação à profundidade, os valores de NBN diferiram de forma significativa em todos os

sistemas sob estudo, ocorrendo acentuado decréscimo ao longo do perfil dos solos, observados na Figura 26.



**Figura 26** - Efeito da profundidade de amostragem no carbono da biomassa microbiana (CBM) e no nitrogênio da biomassa microbiana (NBN) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município da Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

O valor de NBN encontrado neste estudo para solo sob capoeira, é inferior aos encontrados por Vasconcelos (2002) em solos sob capoeira de diferentes idades em Castanhal (PA), onde obteve valores entre 33 a 63  $\mu\text{g.g}^{-1}$  solo; por Melo(2007) que detectou valor de 24,3  $\mu\text{g.g}^{-1}$  solo, em solo sob capoeira em Itupiranga (PA) e Rodrigues (2006), em avaliação de capoeira no município de Aurora do Pará (PA) que obteve o valor de 24 $\mu\text{g.g}^{-1}$  solo.

### 4.3.3 Relação Carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico (CBM:C)

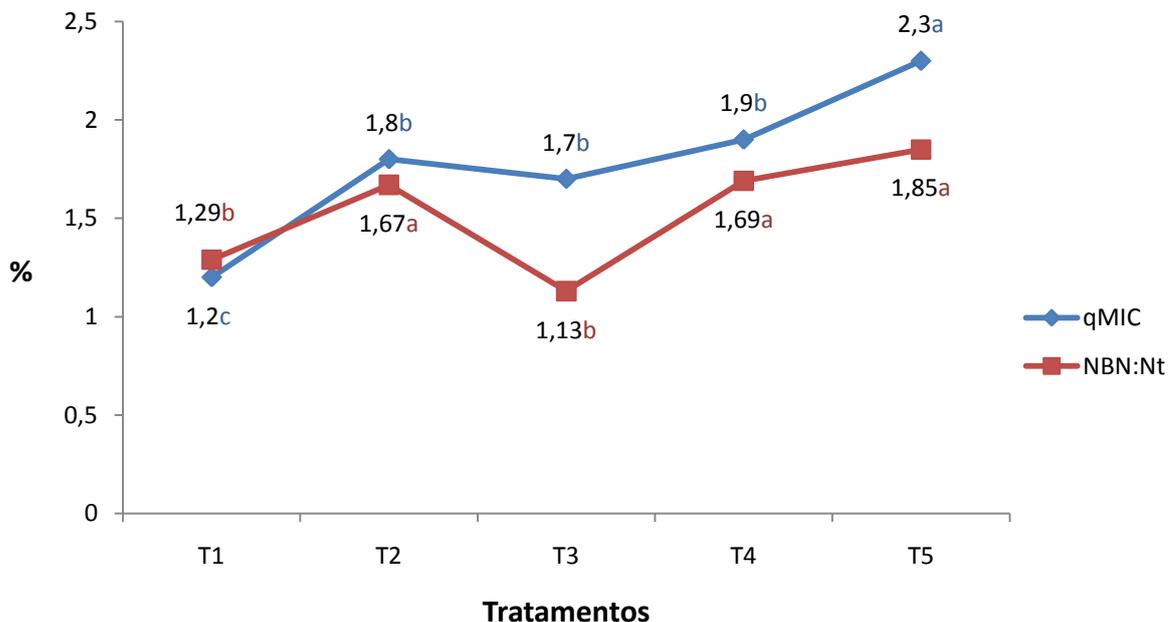
Pelo teste de Student Newman Keuls (SNK), verificou-se que ocorreram variações altamente significativas ( $P < 0,01$ ), dos valores encontrados para a relação CBM:C, denominada de quociente microbiano ( $q_{MIC}$ ), entre os sistemas de manejo avaliados. Pela observação da Figura 27, pode-se constatar que a capoeira mostrou o valor mais elevado de 2,3%, seguido pelo sistema agroflorestal formado pelas espécies paricá e curauá com 1,9 % e, os tratamentos 2 e 3 apresentaram-se semelhantes com valores de 1,8 e 1,7% respectivamente; enquanto que no tratamento 1 obteve-se o menor valor de 1,2%.

O quociente microbiano representa um importante indicador de mudanças no solo, por fornecer uma medida da qualidade da matéria orgânica. Segundo Wardle (1994), em ocasiões em que a biomassa microbiana encontra-se sob algum fator de estresse, como deficiência de um nutriente, acidez elevada, baixo teor de água ou outro, a capacidade de utilização do C é diminuída, acarretando o decréscimo da relação CM:CO. Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou mudança do fator limitante para uma condição favorável, a BM pode aumentar rapidamente, mesmo se os teores de CO permanecerem inalterados (POWLSON et al., 1987). E ainda, de acordo com Sparling (1992), as mudanças no  $q_{MIC}$  podem refletir também, a eficiência da conversão do CO do solo para CM, as perdas de C do solo e a estabilização do CO pelas frações minerais do solo. Para Gama-Rodrigues (1999), o carbono da biomassa microbiana geralmente compreende de 2 a 4% do COT e, valores menores que estes indicam perdas de carbono do sistema. Com base nesta afirmação, no presente estudo, a porcentagem de carbono da biomassa microbiana indicou que na capoeira não ocorreram perdas de C, e, nos demais tratamentos, essas perdas ocorreram de forma semelhante. Os resultados observados para o  $q_{MIC}$ , possivelmente possam estar relacionados com a qualidade da matéria orgânica desses sistemas.

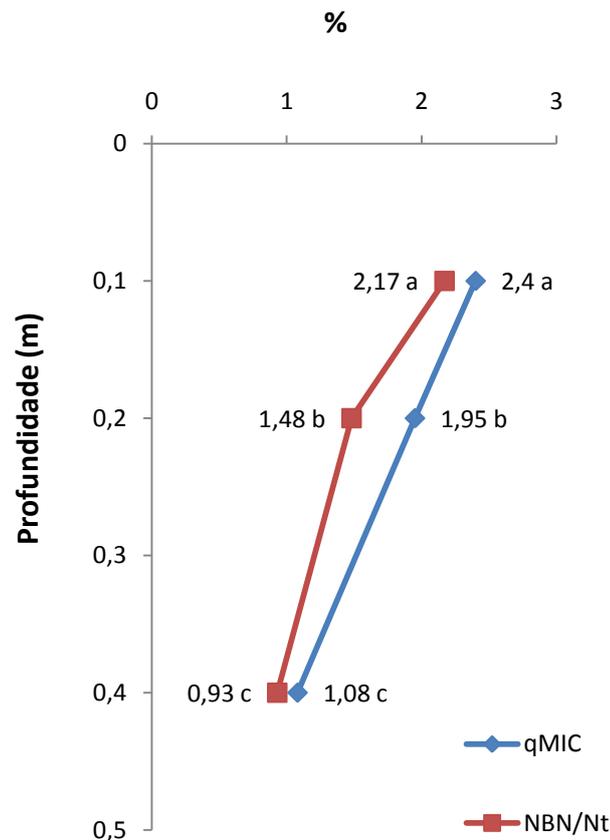
De maneira geral, os valores da relação CBM:CO encontrados neste estudo são equivalentes aos obtidos por Melo (2007), (0,4 a 2,4%) em solos sob diferentes coberturas vegetais na região nordeste do Pará; e menores que os detectados por Rodrigues (2006), (3,51 a 8,12%) em solos sob sistemas agroflorestais com Melliáceas no município de Aurora do Pará- Pa.

#### 4.3.4 Relação Nitrogênio da biomassa microbiana/nitrogênio total (NBM:N)

A análise de variância mostrou efeito significativo para a relação NBM:N entre os diferentes tipos de cobertura vegetal, assim como também nas profundidades amostradas. Para Gama –Rodrigues (1999), a relação NBM:N fornece uma medida de qualidade nutricional da matéria orgânica, quando a qualidade do material orgânico do solo é baixa, a biomassa microbiana encontra-se sob estresse, e a capacidade de utilização do nitrogênio orgânico é diminuída ocorrendo a redução dessa relação. Os valores observados na Figura 27 para NBM:Nt variam de 1,29 a 1,85% entre os tratamentos, sendo as maiores imobilizações do N ocorridas nos solos sob o monocultivo florestal (1,65%) e na capoeira (1,85%). Foi verificado um decréscimo dessa relação com o aumento de profundidade em todos os sistemas como mostrado na Figura 28.



**Figura 27** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos na relação CBM:CO ( $qMIC$ ) e na relação NBM:Nt no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.



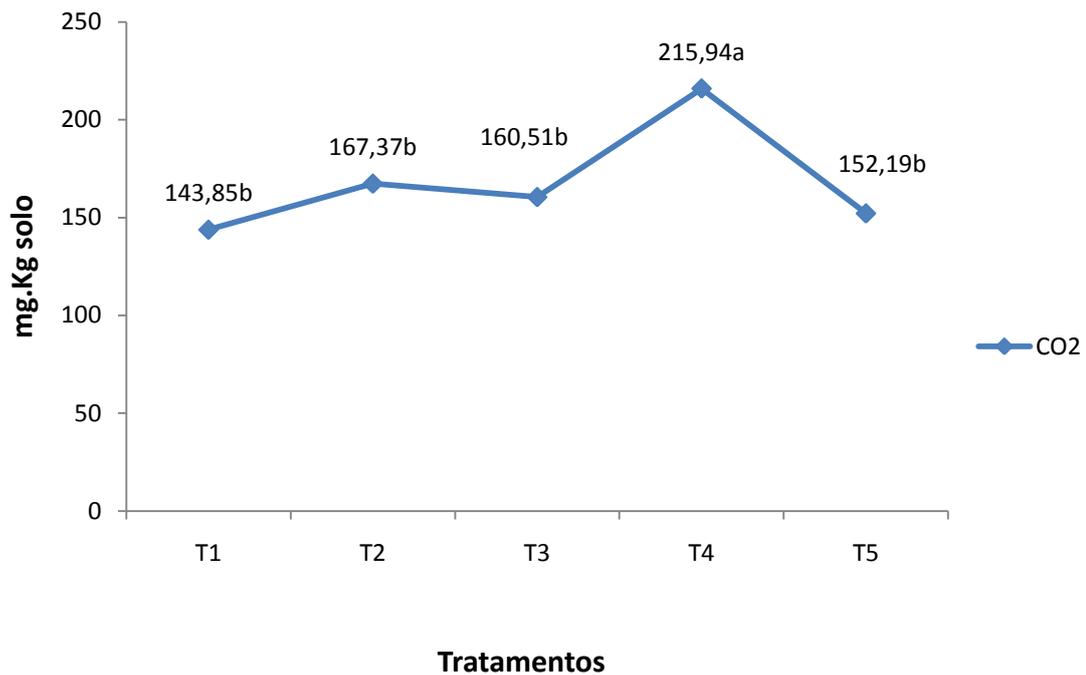
**Figura 28** - Efeito da profundidade de amostragem na relação CBM:CO ( $qMIC$ ) e na relação NBM:Nt no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

De modo geral observa-se que as variações ocorridas na relação NBM:Nt, foram semelhantes às visualizadas para o NBM. Esses resultados mostram que o tipo de vegetação exerceu influências marcantes no desenvolvimento da microbiota dos solos estudados. Para Marumoto et al,(1982) e Ruivo (1998), o C e o N contidos nas células microbianas representam um reservatório desses elementos na matéria orgânica do solo, se constituindo em uma parte significativa do potencial mineralizável, que poderá estar disponível para ser utilizado pelas plantas. Neste estudo, estes reservatórios se mostraram maiores nos solos sob os tratamentos 5 e 2.

#### 4.3.5 Atividade microbiana (CO<sub>2</sub>)

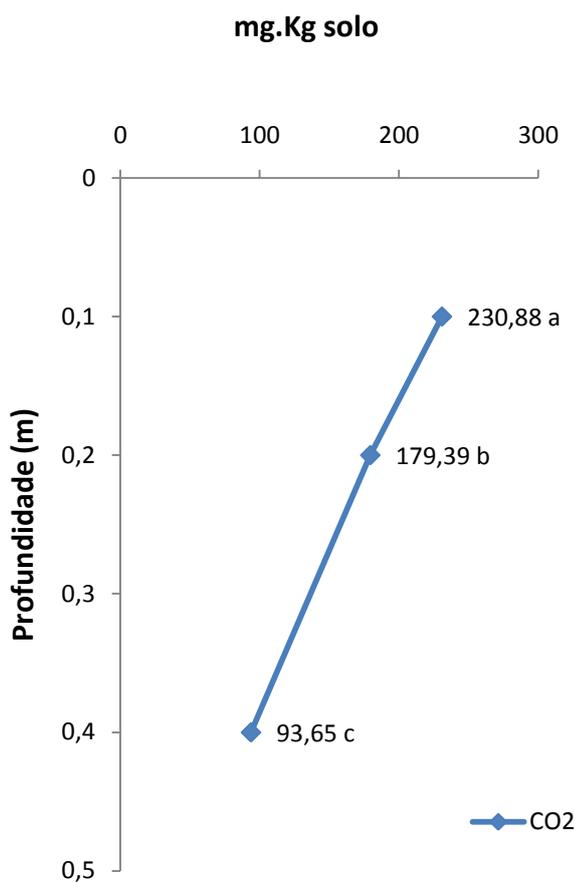
Através da análise de variância aplicada aos valores da atividade microbiana (CO<sub>2</sub>), observa-se pelas Figuras 29 e 30, que ocorreram diferenças significativas entre os sistemas de manejo do solo e as profundidades avaliadas. Não havendo, entretanto, efeito significativo da interação entre o sistema de cultivo e a profundidade, mostrando assim, que não ocorreu dependência entre os mesmos. Ao analisar o efeito da profundidade, verifica-se que o gradiente de produção de C-CO<sub>2</sub> microbiano dos solos sob todos os sistemas de manejo, seguiu a ordem 10>20>40. Essa proporção, indica que a atividade microbiana está concentrada principalmente nas camadas orgânicas do solo. Este fato já era esperado, pois é nesta camada do solo onde se concentra a maior quantidade de compostos orgânicos que estimulam o crescimento dos microrganismos. Observações de outros autores também concordam com os dados encontrados neste trabalho. Segundo Colozzi Filho et al (1999) e Vargas e Scholles (2000), a permanência de resíduos na superfície propicia aumentos na atividade biológica nas camadas superficiais do solo, dinâmica que se desenvolve sob maior umidade, menor temperatura e maior teor de matéria orgânica. E ainda, para Vargas e Scholles (2000), as diferenças na atividade microbiana ao longo do perfil do solo, refletem também a distribuição dos resíduos vegetais.

Quanto ao efeito do sistema de cultivo sobre a atividade microbiana, verificou-se que nos solos sob o sistema agroflorestal formado pelas espécies paricá e curauá, e sob o monocultivo florestal com a espécie paricá, o C-CO<sub>2</sub> liberado pela respiração específica da biomassa microbiana, mostraram valores mais elevados. Esses resultados sugerem uma maior taxa de decomposição nos solos sob esses tratamentos, uma vez que, segundo Gama-Rodrigues et al, (1997), quanto maior a taxa de respiração específica da biomassa microbiana maior será a taxa de decomposição da matéria orgânica. Isso ocorreu provavelmente, devido aos mais elevados teores de N observados nesses solos, que estimularam uma atividade microbiana mais alta.



**Figura 29** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos na atividade microbiana (CO<sub>2</sub>) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Nesta pesquisa, os valores de C-CO<sub>2</sub> de 152,19 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo, observados para o solo sob capoeira, são menores que os encontrados por Melo (2007) em solo sob capoeira no nordeste do Pará, que para a respiração acumulada em 10 dias obteve valor igual a 284 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo na camada de 0-2 cm; sendo inferiores também aos resultados constatados por Rodrigues (2006), que estudando solos de capoeira no município de Aurora do Pará-Pa, obteve o valor de 344,63 mg C-CO<sub>2</sub> . kg<sup>-1</sup> . E ainda, comparando os nossos resultados de 160,51 e 215,94 mg C-CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> solo, obtidos para solo sob sistemas agroflorestais, verifica-se que os mesmos são equivalentes aos valores de 178,38 a 210,19 mgC-CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> solo, encontrados ainda por Rodrigues(2006) em solos sob sistemas agroflorestais formado com espécie de Melliaceas também no município de Aurora do Pará-Pa.



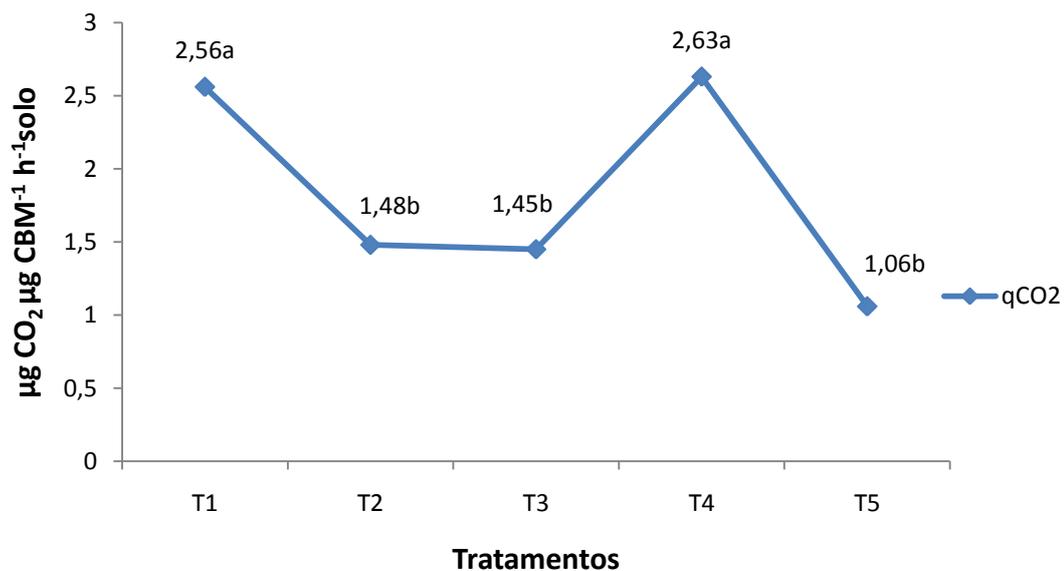
**Figura 30** - Efeito da profundidade de amostragem na atividade microbiana ( $\text{CO}_2$ ) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

#### 4.3.6 Quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ )

A taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana do solo, a exemplo do  $\text{C-CO}_2$ , foi influenciada pelo tipo de cobertura vegetal, como mostram os valores do  $q\text{CO}_2$  na Figura 31. Os valores de  $q\text{CO}_2$ , encontrados para os solos sob o monocultivo florestal, sistema agroflorestal com as espécies paricá, mogno, freijó e curauá e a capoeira, foram estatisticamente semelhantes entre si; sendo essa semelhança, também observada entre o monocultivo agrícola e o sistema agroflorestal formado pelas espécies paricá e curauá.

Os resultados do quociente respiratório obtidos para o solo sob capoeira, foram sensivelmente menores, que para os demais sistemas estudados. O que pode sugerir, que nesse tratamento, a biomassa microbiana apresentou maior eficiência na utilização dos recursos de

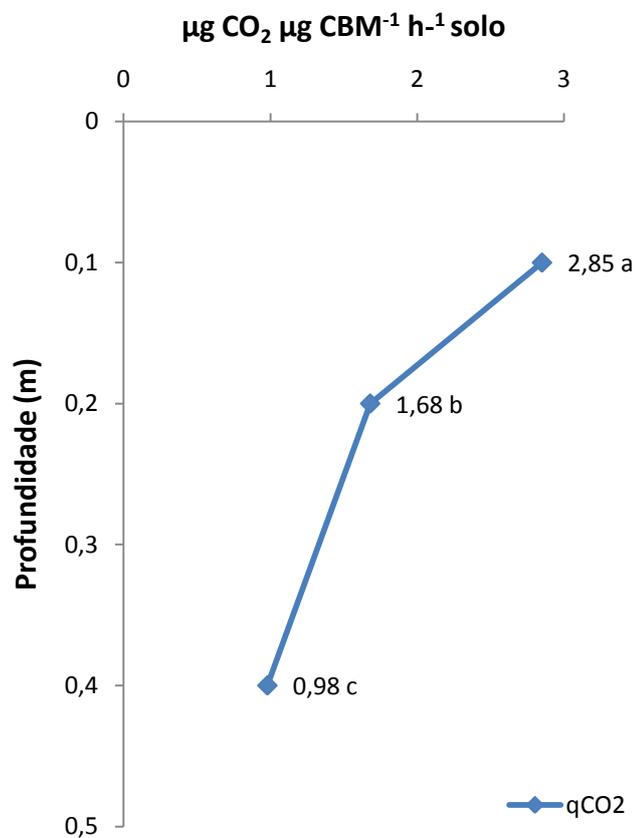
ecossistema. De acordo com Odum (1969), a medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos nutrientes, menos C é perdido como CO<sub>2</sub> pela respiração, e maior teor de C é incorporado aos tecidos microbianos, reduzindo o valor do  $qCO_2$ . Adicionalmente pode-se considerar que sendo a capoeira, um sistema mais complexo em estrutura e composição florística, possui maior capacidade de armazenamento de carbono. Mao et al, (1992), sugere que quanto maior a complexidade dos sistemas, mais elevada é a eficiência na renovação do C microbiano, com importantes implicações para o funcionamento do ecossistema. Com base nessas considerações, os solos sob o monocultivo agrícola e o sistema agroflorestal formado pelas espécies paricá e curauá, por terem apresentado os maiores valores para  $qCO_2$ , teriam menor estabilidade, que os solos sob os demais tratamentos avaliados.



**Figura 31** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos no quociente metabólico ( $qCO_2$ ) no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Uma explicação possível para este fato, seria considerar os tipos de usos anteriores desses solos, os quais podem ter provocado uma perturbação do funcionamento dos mesmos,

estimulando uma biomassa microbiana qualitativamente alterada e imatura, onde os microrganismos colonizadores oportunistas de crescimento rápido que de acordo com Sakamoto & Obo (1994), geram desequilíbrios entre esses solos, como a perda de C em forma de CO<sub>2</sub>. E ainda, segundo Wardle (1994), valores elevados de  $q\text{CO}_2$  são indicativos de ecossistemas submetidos a fatores de estresse ou condições desfavoráveis, tais como, limitação de nutrientes, baixo pH ou fatores de perturbação causados pelo rápido fluxo de matéria orgânica no ecossistema.



**Figura 32** - Efeito da profundidade de amostragem no quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará(PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

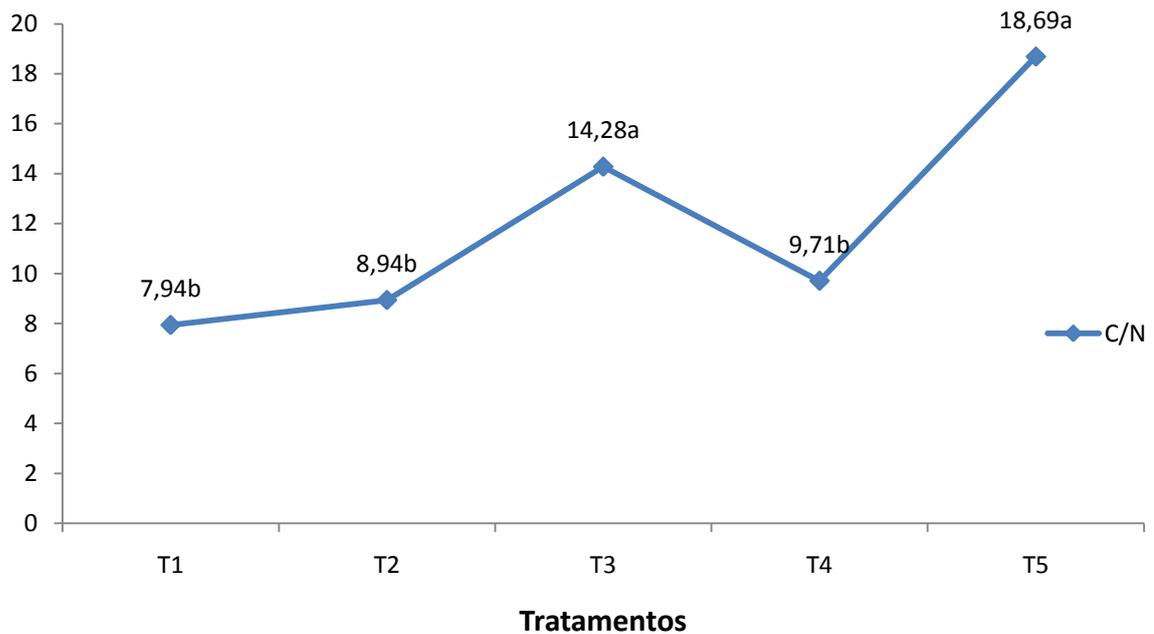
Confirmando a tendência de redução da taxa respiratória com o aumento de profundidade do solo, observa-se através da Figura 32 que neste estudo, houve redução dos valores de  $q\text{CO}_2$  nas camadas inferiores em todos os sistemas. Sendo  $q\text{CO}_2$  um reflexo da

capacidade de armazenamento de C, isto indica, como mencionado anteriormente, que a atividade microbiana tende decrescer com a profundidade em função da menor concentração de compostos orgânicos.

#### 4.3.7 Relação C/N microbiano

Os resultados encontrados para a relação C/N microbiano, mostram que o tipo de cobertura vegetal influenciou de forma significativa os processos de mineralização dos resíduos orgânicos presentes nos solos sob os sistemas estudados. Com relação à profundidade, não foram observadas variações estatisticamente significativas entre os tratamentos. A Figura 33 mostra que os valores obtidos neste estudo, para a relação C/N variaram de 7,94 a 18,69; nos sistemas 1 e 2, houve um decréscimo no perfil do solo, enquanto que os sistemas 3, 4 e 5, apresentaram uma tendência de aumento com a profundidade. Segundo Colozzi-Filho (2001), os tecidos microbianos possuem em média uma concentração de 5% de N, o que resulta em uma relação C/N entre 20 e 30. Isto significa, que os resíduos que possuem uma relação C/N entre 20 e 30, fornecerão o nitrogênio necessário para a reprodução microbiana, não havendo imobilização nem mineralização significativa no início do processo. Se a relação C/N for maior, significa que os microrganismos buscarão outras fontes de nitrogênio disponíveis, causando a imobilização temporária desse elemento; uma relação C/N menor que 20-30, indica que haverá um excesso de N no resíduo, que será mineralizado e estar disponível para as plantas, já num primeiro momento.

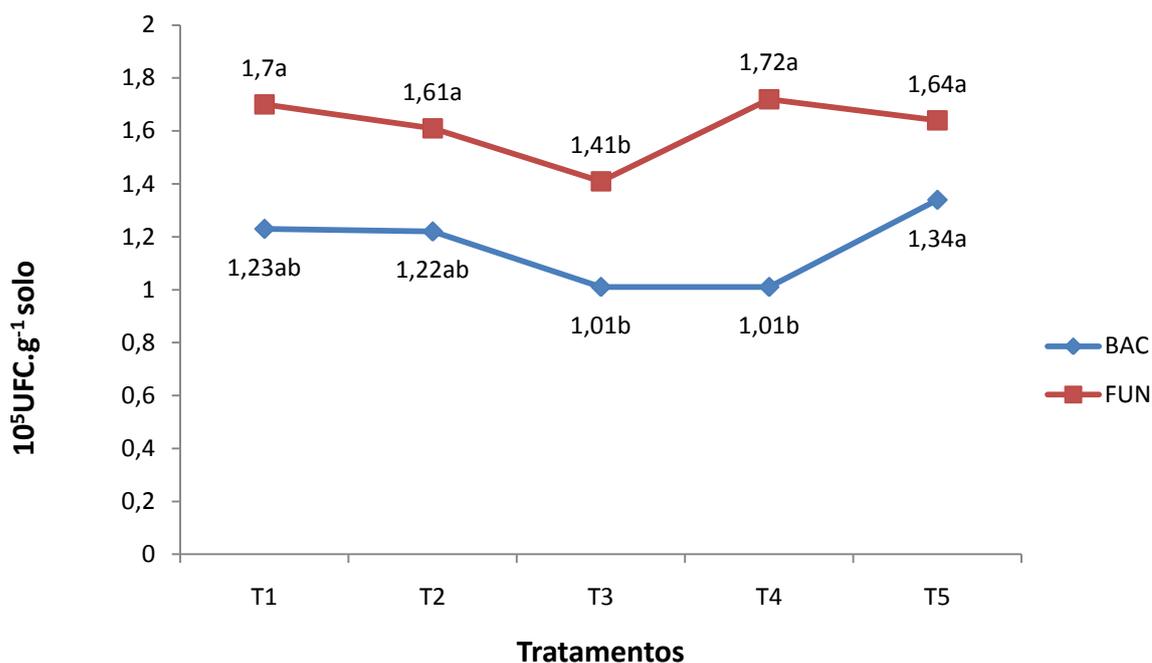
Com base nessas considerações, os nos solos ob os sistemas estudados, provavelmente, o teor de N nos resíduos, favoreceu a mineralização da matéria orgânica, tendo em vista, que em todos esses tratamentos, foi observado um valor para a relação C/N inferior a 20. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Falesi et al, (1969), em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia, onde a relação C/N situou-se na faixa entre 10 e 15, assim como, aos de Rodrigues (2006), que detectou valores entre 14,55 a 14,99 para a relação C/N, em solos sob sistemas agroflorestais no nordeste do estado do Pará. Não foram observadas diferenças significativas na relação C/N em função das profundidades amostradas.



**Figura 33** - Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos na relação C/N microbiano no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

#### 4.3.8 Contagens microbiológicas

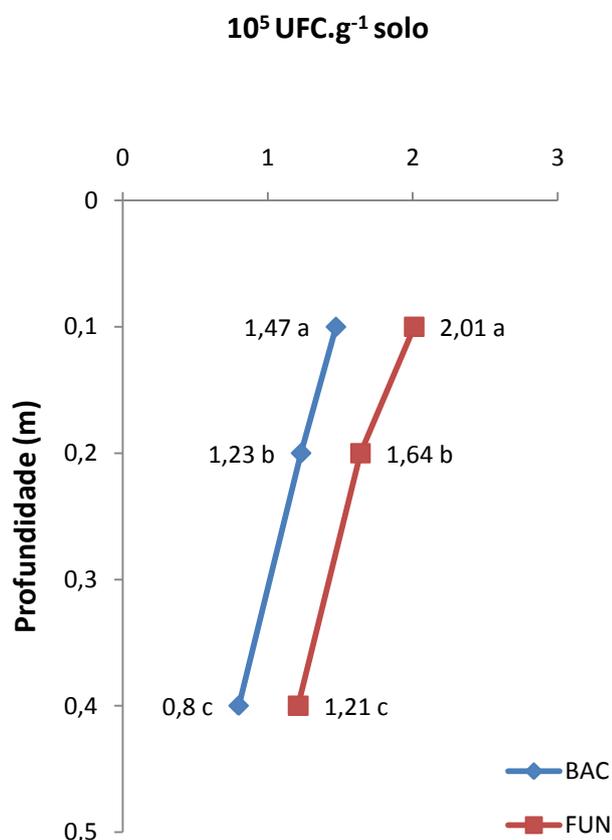
A análise estatística revelou diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) nas densidades de bactérias e de fungos, evidenciando que a população microbiana foi sensivelmente afetada pelos diferentes manejos do solo. O monocultivo agrícola e o monocultivo florestal mostraram semelhanças significativas aos sistemas agroflorestais, com relação aos valores de UFC (Unidades Formadoras de Colônias) de bactérias. Enquanto que a maior população de bactérias cultiváveis observadas na capoeira, pode ser atribuída à diversidade florística desse sistema que contribuiu para o aumento de material orgânico adicionado ao solo em forma de resíduo e também excreções radiculares, que estimularam o aumento da comunidade de bactérias na capoeira (MARTYNIUK & WAGNER, 1978).



**Figura 34** – Efeito das coberturas vegetais dos tratamentos no número de bactérias e fungos no solo. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

A Figura 34 mostra que em todos os tratamentos os valores de UFC de fungos foram sempre superiores aos de bactérias entre as camadas de solos estudadas. Uma possível explicação para esse fato, seria devido a predominância nesses solos de baixos valores de pH, o que os caracteriza como solos ácidos. Essa acidez representa um fator, que poderia favorecer a predominância dos fungos nesses solos, uma vez que, de acordo com Ivarson (1977) e Alexander (1980), os fungos tendem a ser mais abundantes em solos ácidos. A Figura 35 evidencia que aumento de profundidade provocou a visível redução das populações de bactérias e fungos, e os maiores valores de UFC's encontrados na camada de 0-10 cm, são atribuídos à concentrações mais elevadas de detritos orgânicos na superfície e à cobertura vegetal, pois esta permite a redução das flutuações térmicas e hídricas, diminuindo assim, as oscilações marcantes na densidade populacional (ROVIRA ; DAVEY, 1974). Nas camadas de 20-40 cm, a presença ainda, de expressivas populações, deve-se provavelmente, ao sistema

radicular que, através do efeito rizosférico disponibiliza substratos orgânicos para as comunidades microbianas presentes nessas profundidades (VARGAS ; SCHOLLES, 2000).



**Figura 35** - Efeito da profundidade de amostragem no número de bactérias e fungos no solo sob os diferentes tratamentos. Campo experimental da Tramontina no município de Aurora do Pará (PA). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo SNK a 5% de significância.

Em geral, observou-se que a vegetação de todos os tratamentos, estimulou de maneira uniforme a dominância de fungos nesses solos, sugerindo que, além do pH anteriormente mencionado, a presença de espécies vegetais comuns a todos os sistemas, possa ter exercido influência, visto que, a qualidade e a quantidade de exudados radiculares variam entre as espécies vegetais; e isso, segundo Landi et al (2006), tem importante interferência sobre as propriedades microbiológicas da rizosfera, as quais podem exercer um efeito seletivo, determinando a dominância de certos grupos de microrganismos.

Através da observação dos indicadores microbiológicos, fica evidenciado que o monocultivo florestal com a espécie paricá se destaca entre os demais tratamentos por apresentar valores mais adequados para a biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), relação NBM:Nt e quociente metabólico ( $qCO_2$ ).

#### 4.3.9 Diversidade microbiana

Considerando a pouca informação sobre a composição da população microbiana de solos sob sistemas de cultivos implantados em áreas alteradas, a presente pesquisa visou identificar as espécies de bactérias e os gêneros de fungos predominantes nos solos sob os tratamentos avaliados.

##### 4.3.9.1 Bactérias

Pela utilização dos métodos moleculares anteriormente descritos e evidenciados nas Figuras 11 e 12, a análise das sequências obtidas após a comparação com as sequências depositadas no GenBank do National Center for Biotechnology Information (NCBI), os resultados revelaram a presença das espécies de bactérias constantes da Tabela 3.

Constatou-se que a maioria das espécies identificadas estão distribuídas de maneira uniforme entre os solos dos tratamentos. Esse fato pode ser reflexo da semelhança de fatores ambientais do solo da área onde estão localizados os experimentos, assim como também da composição florística dos sistemas, formados pelas mesmas espécies vegetais.

As espécies de bactérias detectadas podem contribuir para a fertilidade do solo, de diferentes formas, visto que possuem características ou participam de importantes processos biogeoquímicos, que beneficiam o sistema solo-planta favorecendo o desenvolvimento vegetal.

Pelo fato da presente investigação não incluir o estudo das habilidades fisiológicas das espécies detectadas, realizou-se uma breve consulta de literatura sobre as características metabólicas dessas espécies.

**Tabela 3** - Espécies de bactérias encontradas na profundidade 0-10 cm do solo sob os diferentes tratamentos.

<b>Isolado</b>	<b>Espécie bacteriana</b>	<b>% de identidade pelo NCBI</b>
Tratamento 1	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	100
Tratamento 1	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	100
Tratamento 2	<i>Burkholderia sp</i>	99
Tratamento 2	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	100
Tratamento 2	<i>Burkholderia sp</i>	99
Tratamento 3	Bactéria desconhecida	98
Tratamento 3	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	100
Tratamento 3	<i>Burkholderia cepacia</i>	100
Tratamento 3	<i>Pseudomonas veronii</i>	99
Tratamento 3	<i>Burkholderia sp</i>	99
Tratamento 4	<i>Burkholderia cenocepacia</i>	99
Tratamento 4	<i>Pseudomonas veronii</i>	99
Tratamento 4	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	100
Tratamento 5	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	100
Tratamento 5	<i>Burkholderia cepacea</i>	99
Tratamento 5	<i>Pseudomonas putida</i>	98
Tratamento 5	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	100

As bactérias do gênero *Pseudomonas* formam um grupo heterogêneo, caracterizado por sua versatilidade catabólica, que possibilita a utilização de uma faixa muito ampla de substratos como fonte de carbono (NEVES ; RUMMJANEK, 1998). Algumas espécies dentro desse gênero têm capacidade de realizar a fixação biológica do N (FNB), sendo por isso, denominadas diazotróficas, e estima-se que estas sejam menos limitadas quanto à fonte de energia, do que outros microrganismos diazotróficos. Na rizosfera de algumas espécies vegetais nos solos tropicais, as bactérias diazotróficas desse gênero costumam ser dominantes (CHEN; BARRAQUIO; KNOLES, 1994). Estudos também sobre o gênero *Burkholderia* têm mostrado que algumas estirpes dentro desse gênero são diazotróficas endofíticas (YABUUCHI et al., 1992). Espécies fixadoras de N pertencentes à *Burkholderia*, foram isoladas de arroz no Vietnã e em cana-de-açúcar, batata-doce, mandioca e arroz no Brasil (BALDANI et al., 1996a).

Os microrganismos do solo podem ser divididos em relação ao efeito que causam às plantas em benéficos, prejudiciais ou neutros. Os microrganismos benéficos, simbioses e não simbioses de acordo com Lifshitz et al, (1987) podem influenciar o crescimento de plantas através do aumento na disponibilidade de nutrientes minerais, da produção de hormônios de

crescimento como giberelinas e auxinas conforme Brown (1972), e da supressão de microrganismos deletérios da rizosfera das plantas (KLOEPPER ; SCHROTH, 1981).Dentre os microrganismos benéficos, merecem destaque as rizobactérias, assim denominadas por colonizarem agressivamente o sistema radicular, e devido a trabalhos que relacionam o aumento no crescimento de plantas com a presença das mesmas no solo, são chamadas rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs).

#### 4.3.9.1.1 Mecanismos de ação das rizobactérias

##### a) Antibiose

Dentre os mecanismos de ação das rizobactérias, a produção de compostos antibióticos tem sido considerada pelos autores Fravel (1988) e Luz (1996), como um dos mais importantes mecanismos, pois atua na supressão de patógenos na rizosfera. No experimento realizado por Sottero et al (2006), comprovou-se que isolados de rizobactérias do grupo *Pseudomonas* sp, apresentaram antagonismo contra *Fusarium* sp, e foram também eficientes na promoção de crescimento de plantas de alface (*Lactuca sativa*, L.). Thomashow e Weller (1988), isolaram e caracterizaram o antibiótico ácido 1-carboxílico fenazina, produzido por *Pseudomonas fluorescens*, e capaz de controlar o patógeno *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* , causador do mal-do-pé do trigo.

Como uma consequência da capacidade de produção de antibióticos e alguns sideróforos, que são substâncias produzidas por alguns microrganismos em condições limitantes de ferro e com grande afinidade por ions  $Fe^{3+}$  e de acordo com Leong (1986), as rizobactérias *Pseudomonas* do grupo *putida-fluorescens* têm sido usadas com sucesso como agentes de controle contra alguns fitopatógenos evidenciados na Tabela 4.

Ainda, Rocha e Melo (2009), estudando a ação antagonística da *Pseudomonas putida-fluorescens* contra *Phytophthora parasítica* e *P. citrophthora*, agentes da podridão radicular dos citros e seu efeito no desenvolvimento de plântulas de citros, concluíram que houve acentuada redução na percentagem de infecção da doença, assim como ocorreu um maior estímulo de crescimento das plântulas inoculadas.

**Tabela 4** - Relação de fitopatógenos onde rizobactérias do gênero *Pseudomonas* têm sido utilizadas como agentes de controle.

<b>Cultura</b>	<b>Rizobactéria</b>	<b>Patógeno</b>	<b>Referência</b>
Trigo	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Gaeumnnomyces graminis</i> var. tritici	Cook & Baker, 1983
Batata	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Erwinia carotovora</i>	Mantovonelo & Melo, 1994
Tulipa	<i>Pseudomonas sp</i>	<i>Pythium ultimum</i>	Nehl et al, 1996
Algodão	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pythium ultimum</i>	Howel & Stipanovic, 1980
Beterraba e algodão	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pythium sp</i>	Van Peer & Schippers, 1992
Trigo	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pythium sp</i>	Weller & Cook, 1983

Fonte: Melo & Azevedo, 1998.

Algumas estirpes do gênero *Burkholderia* apresenta a capacidade de colonizar os tecidos internos das raízes e são envolvidas em relação de simbiose, promovendo o crescimento de plantas. A presença de espécies desse gênero no solo e na rizosfera resulta da sua versatilidade nutricional e resistência a antibióticos produzidos por outras espécies, assim como a sua capacidade de síntese de enzimas pectinolíticas, úteis na invasão dos tecidos vegetais e também da produção de antibióticos que ajudam a suprimir outros microrganismos, conferindo-lhe desse modo, vantagens competitivas na colonização da rizosfera (MELO ; AZEVEDO, 1998).

As investigações realizadas por Lavizoto (2008), indicaram que os isolados pertencentes a *Burkholderia cepacea* e *Burkholderia cenocepcea* possuem potencial para a promoção de crescimento vegetal, inibição de patógenos e produção de lípases. A espécie *Burkholderia cepacea*, segundo Jayaswal et al, (1990), também tem mostrado atividade antagonística contra um amplo número de patógenos de plantas, sendo conhecida por produzir vários metabólitos secundários como a pyrrolnitrina, fenazina, cepabactina e outros compostos voláteis e não voláteis de natureza ainda desconhecida (ROITMAN; MAHONEY; JANISIEWICZ, 1990). Vários estudos têm sugerido que a produção de pyrrolnitrina pela *B. cepacea*, está intimamente associada com o controle biológico de doenças vegetais (BURKHEAD et al, 1994; CARTWRIGHT et al, 1995; HWANG et al, 2002). Adicionalmente, a investigação realizada por Kadir et al (2008), comprovou a

produção de substâncias antifúngicas pela *B. cepacea*, com atividade contra o fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, causador da antracnose do mamão (*Carica papaya* L.).

b) Produção de reguladores de crescimento de plantas

São denominados reguladores de crescimento de plantas (RCPs), certas substâncias orgânicas, que em baixas concentrações, influenciam nos processos fisiológicos das plantas. Muitos RCPs ou seus derivados podem ser produzidos por microrganismos do solo e da rizosfera. A utilização de rizobactérias visando o aumento no crescimento das plantas pode estar relacionada com a capacidade que algumas têm de sintetizar reguladores de crescimento como giberelinas, auxinas, citocininas e substâncias análogas como mostra a Tabela 5.

**Tabela 5** - Rizobactérias produtoras de RCPs e seus derivados

<b>Microrganismo</b>	<b>RCPs</b>	<b>Referência</b>
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Giberalina	Hussain & Vancura, 1970
<i>Pseudomonas sp</i>	Auxinas	Brown, 1972
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Auxina, heteroauxina	Hussain & Vancura, 1970
<i>Pseudomonas putida</i>	Auxina, heteroauxina	Hussain & Vancura, 1970
<i>Pseudomonas putida</i>	Citocinina	Nieto & Frankenberger, 1989

Fonte: Melo & Azevedo, (1998).

Aumentos de biomassa e peso seco foram relatados em árvores de *Pinus* após a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* (LUCY et al, 2004). Possivelmente tal resultado ocorreu devido a ação do fitormônio citocinina sobre a planta, isto porque alterações positivas no crescimento das árvores e na quantidade desse fitormônio nas raízes puderam ser detectadas, após a inoculação com essa estirpe bacteriana (BENT et al, 2001). A espécie *Pseudomonas fluorescens* também apresenta comprovado auxílio na ectomicorrização de raízes de *Eucalyptus sp*, o que auxilia o rápido desenvolvimento destas árvores (DUNSTAN et al., 1998).

c) Aumento na absorção de fosfatos

Os nutrientes iônicos presentes no solo se movem em direção às raízes por fluxo de massa com a água presente no solo ou por difusão. Nem toda quantidade desses nutrientes está disponível às plantas: o fósforo, por exemplo, encontra-se no solo combinado em compostos de ferro, alumínio, cálcio e na matéria orgânica, tendo assim baixa solubilidade.

A solubilização biológica promovida por bactérias, dentre elas algumas rizobactérias, representa uma alternativa para maior eficiência na utilização de fosfatos naturais. A

solubilização ocorre geralmente devido à produção de ácidos orgânicos no meio em que o microrganismo se desenvolve. Vários estudos têm sido realizados com diferentes fontes de fosfato a fim de quantificar o fósforo disponível às plantas por intermédio de microrganismos solubilizadores (MELO e AZEVEDO, 1998). Lifshitz et al (1987), demonstraram que uma linhagem de *Pseudomonas putida* aumentou a absorção de fosfato radio-marcado por plântulas de canola, bem como os níveis de  $^{32}\text{P}$ , em raízes e folhas. E a *P. fluorescens* tem sido empregada como inoculante para aumentar a disponibilidade de P às plantas, através da solubilização de fosfatos orgânicos via ação das fosfatases ou através da solubilização de fosfatos inorgânicos via ácidos orgânicos (MARTIN, 1973).

A capacidade da bactéria *Burkholderia cepacea* de solubilizar o fosfato de três tipos de fosfato insolúvel, foi quantificada por Song et al, (2008), que utilizou glicose a 3% como fonte de carbono, observou que essa bactéria apresentou intensa atividade solubilizante de fosfato, sendo esta ação diretamente relacionada com a queda de pH causada pela bactéria.

Na avaliação sobre a população de rizobactérias em solos sob espécies florestais Pereira et al,(2008), detectaram a presença de várias espécies de RPCPs, com destaque para a *Pseudomonas fluorescens*, os autores consideram esses dados valiosos tendo em a sua possível utilização em sistemas de reflorestamento.

Algumas dessas bactérias também possuem capacidade de degradar compostos derivados do petróleo, Schneider (2008), isolou e caracterizou bactérias de solo contaminado com gasolina, e dentre os isolados a *Pseudomonas putida* apresentou habilidade para degradar os isômeros C 9 na gasolina comercial, bem como a degradação do etanol puro.

#### 4.3.9.2 Fungos

Os fungos desempenham papel dominante nos processos de ciclagem de nutrientes e nas interações com outros organismos habitantes do solo, sendo assim indispensáveis para a reciclagem de nutrientes da liteira, tanto acima como abaixo da superfície do solo (RAYNER e BODDY, 1988). Todos os fungos do solo estão envolvidos em complexas cadeias alimentares no mesmo, através de interações com a fauna e os microrganismos do solo: como alimentos para vários nematóides, térmitas e colembolos; como parasitas e predadores destes e de outros organismos pertencentes à meso e micro fauna do solo; como recicladores de resíduos de produtos e de outras substâncias químicas excretadas pelas raízes das plantas, animais e outros microrganismos (INGHAM, 1992). Vários fungos do solo são fontes de inúmeros importantes compostos farmacêuticos como a penicilina, cyclosporina e

lovastatina, e ainda alguns fungos investigados e empregados como potentes agentes para o controle biológico de pragas na agricultura devido ao desempenho do papel de parasita, predador e antagonista aos nematóides ou a fungos patógenos vegetais (BAKER, 1987).

Os fungos detectados na presente investigação, foram isolados das quantificações em UFC (Unidades Formadoras de Colônia), a partir de amostras de solos, pela utilização do meio de cultura de Thorton segundo Parkinson et al, (1971) e o meio PDA (Potato dextrose Agar) acidificado. A identificação, feita através da visualização microscópica de estruturas vegetativas e reprodutivas, revelou a presença dos gêneros de fungos predominantes nos solos estudados mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6** - Gêneros de fungos predominantes nos solos sob os tratamentos investigados.

Tratamentos	Gênero	Morfologia
1, 3, e 5	<i>Absídia sp</i>	Figura 36.
1, 2, 3, 4 e 5	<i>Aspergillus sp</i>	Figura 37
2, 3, 4 e 5	<i>Cladosporium sp</i>	Figura 38
2, 3, 4 e 5	<i>Penicillium sp</i>	Figura 40
1, 2, 3 e 4	<i>Trichoderma sp</i>	Figura 41
2, 3, 4 e 5	<i>Paecilomyces sp</i>	Figura 39

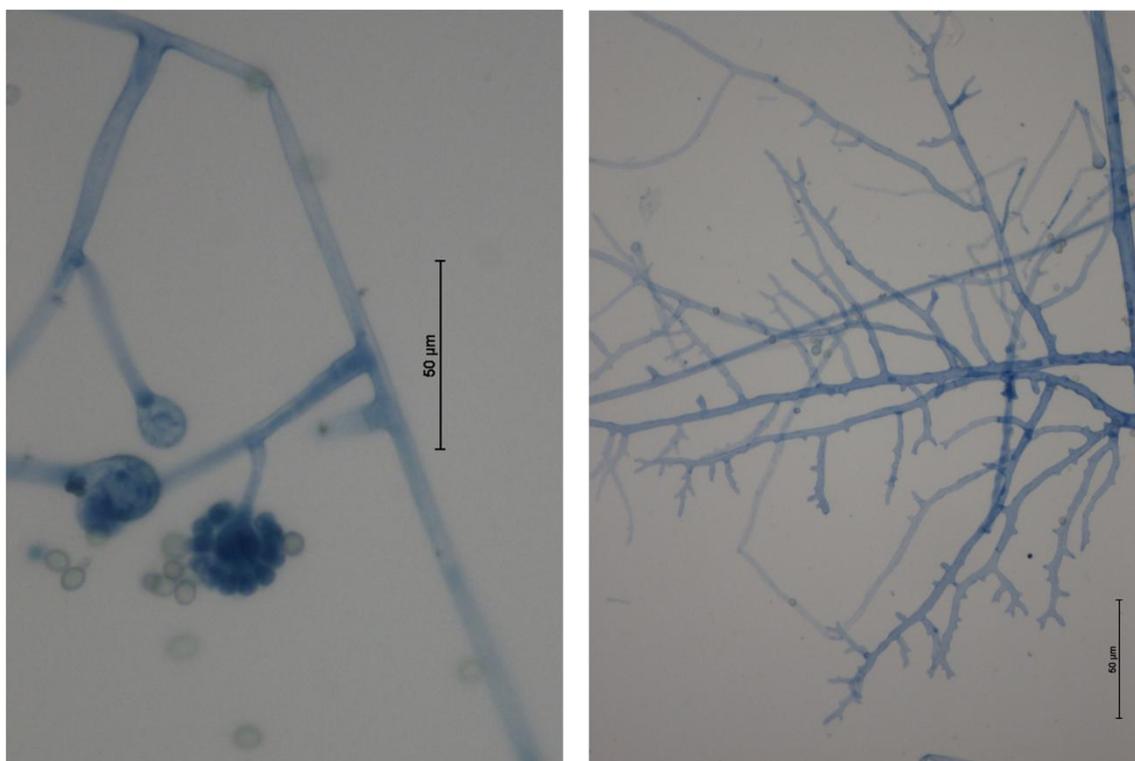


Figura 36 – *Absídia sp.*

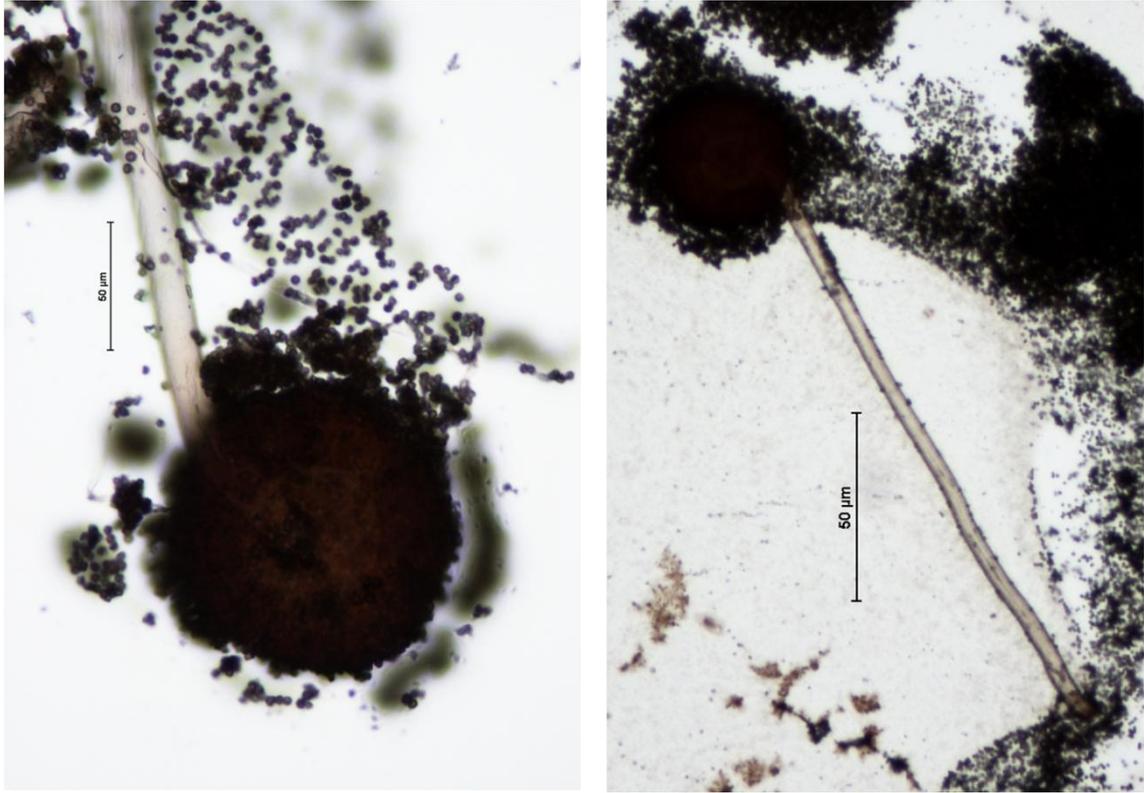


Figura 37 – *Aspergillus* sp.

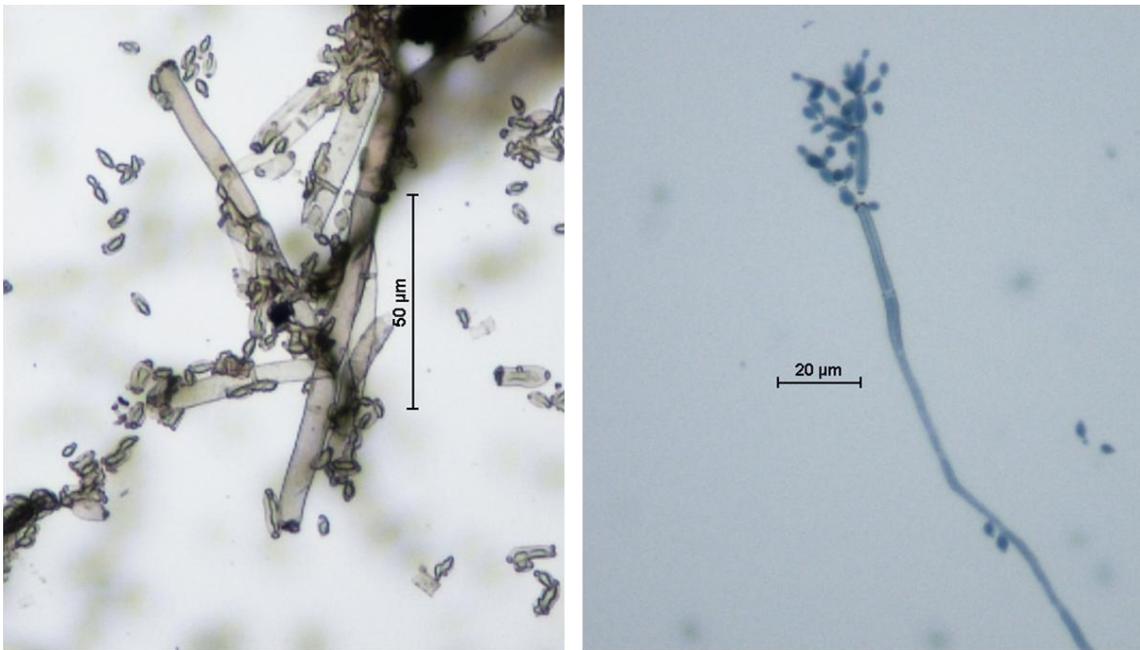


Figura 38 – *Cladosporium* sp.

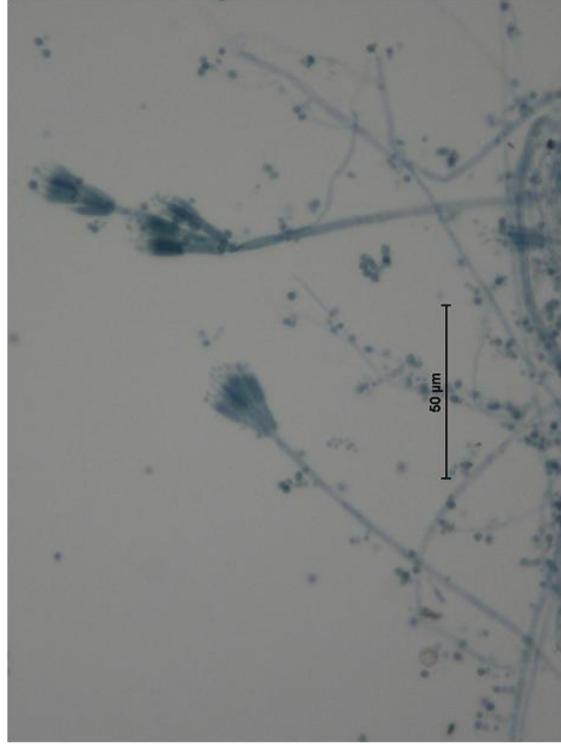


Figura 39 – *Paecilomyces* sp.

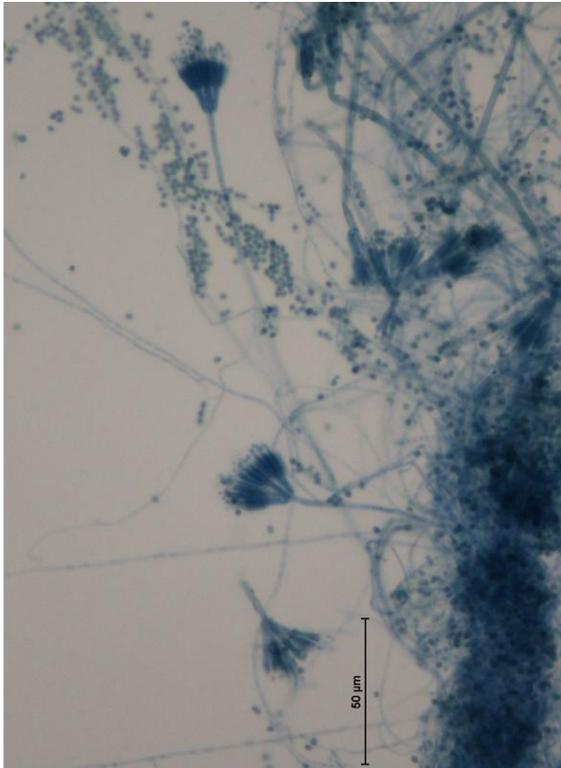
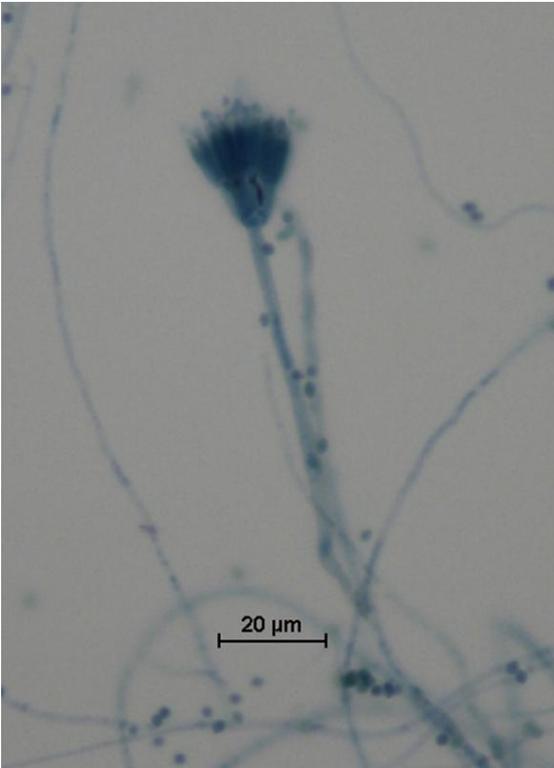


Figura 40 – *Penicillium* sp.

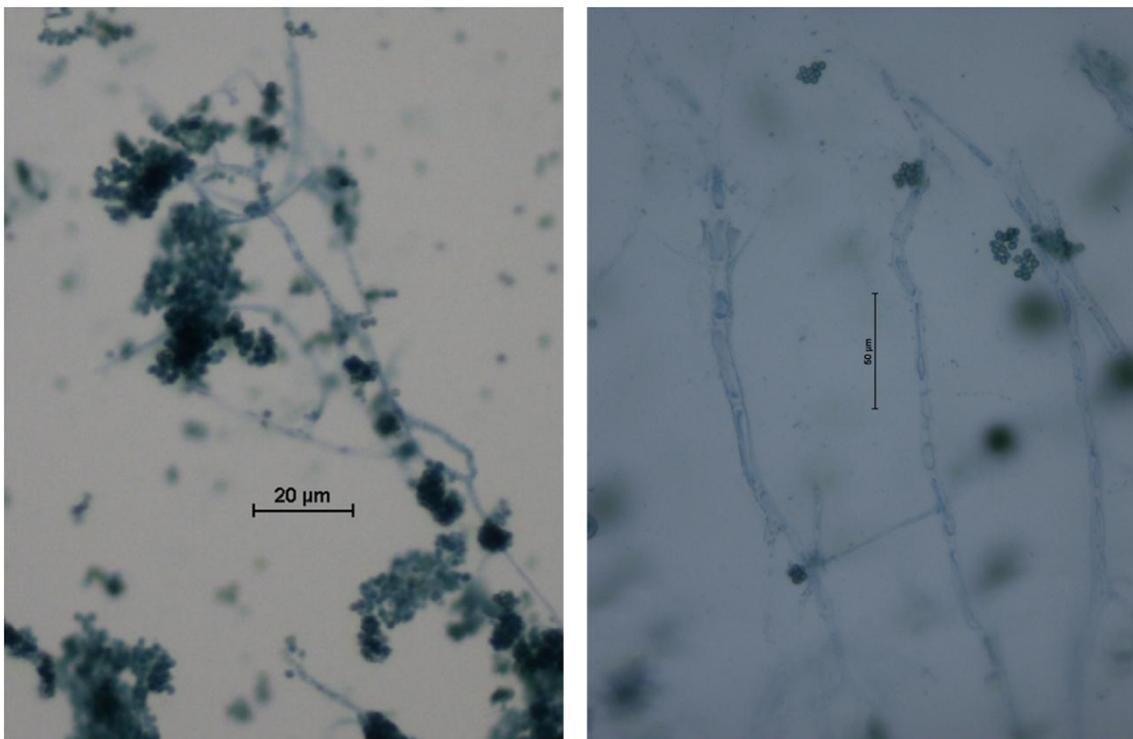


Figura 41 – *Trichoderma* sp.

Para Lodge e Cantrel (1995), a diversidade e dominância de determinadas espécies fúngicas nos agroecossistemas ocorre quando o ambiente perturbado entra em estresse. Desse modo, a amplitude de nicho do agroecossistema pode apresentar organismos generalistas ou especialistas, uma vez que os agroecossistemas com diferentes tipos de manejo, podem definir o lugar e a função dos organismos no ambiente, desse modo delimitando sua localização física, sua unção trófica, seus limites de tolerância às condições ambientais, e suas interações com outros organismos (GLIESSMANN, 2000).

Com a finalidade de avaliar a diversidade de fungos do solo em sistemas agroflorestais de citrus com diferentes tipos de manejo, Prade et al, (2007), isolaram e identificaram entre outros, os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Absídia*, *Cladosporium* e *Paecilomyces*. Em outro estudo Ethur et al (2007), objetivando selecionar antagonistas fúngicos contra *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum*, utilizaram fungos dos gêneros *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* e *Cladosporium*, e observaram que todos reduziram o crescimento do patógeno, tendo o gênero *Trichoderma* apresentado maior eficiência nessa inibição.

Dentre os fungos presentes no grão do café, o *Cladosporium cladosporioides* tem sido associado à melhor qualidade dos grãos, por ser entopatígeno de ocorrência natural, exerce um controle biológico sobre diversas espécies de insetos que infestam essa cultura (Oliveira et al, 2004). Ainda, deSouza et al (2008), visando detectar microrganismos endofíticos produtores de antibiótico para o controle de pragas a partir de organismos adaptados às condições da região amazônica, isolaram da espécie *Victoria amazônica*, fungos dos gêneros *Penicillium sp*, e *Trichoderma sp* e testaram contra duas linhagens de *Rastonia solanacearum*, um temido fitopatígeno que causa a murcha bacteriana em culturas de ciclo curto, como o tomate (*Lycopersicon eszilentum* MIL. L.) e o pimentão (*Capsicum unnuum*, L.), tendo os resultados mostrados eficiente antibiose contra essa bactéria.

A atividade celulolítica de fungos da Mata Atlântica foi avaliada por Ruegger e Tornisielo (2004), que isolaram e testaram os gêneros *Trichoderma* e *Paecilomyces*, *Penicillium* e *Aspergillus*, e os resultados demonstraram que as linhagens estudadas praticamente se igualam quanto ao potencial para a produção da celulase.

Souchie & Abboud (2007), isolaram fungos da rizosfera de genótipos de Guandu (*Cajanus cajan* L.) cultivados em solos da região nordeste brasileira, e testaram os isolados quanto à habilidade de solubilizar fosfatos. Foi verificado que dentre os isolados, os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* mostraram maior potencial de solubilização de fosfato natural, com a obtenção de valores médios de 122 mg L<sup>-1</sup> de P solubilizado.

A biorremediação é uma tecnologia que utiliza o metabolismo de microrganismos para a eliminação ou redução à níveis aceitáveis, de poluentes presentes no ambiente. Esta tecnologia vem sendo desenvolvida visando explorar a diversidade genética e a versatilidade metabólica microbiana para a transformação de contaminantes, em produtos menos tóxicos, que possam ser integrados nos ciclos biogeoquímicos naturais (UETA et al, 1999). Seguindo essa tendência Colla et al (2008), isolaram fungos filamentosos de solos contaminados com herbicidas triazínicos (atrazina+simazine), empregados na agricultura para o controle de ervas daninhas, em seguida selecionaram os isolados quanto à capacidade de crescimento em meio adicionado de atrazina. Os resultados revelaram que as maiores VCRs (velocidade de crescimento radial), foram obtidas com os fungos *Aspergillus sp* e *Penicillium sp*, indicando a possibilidade de utilização desses fungos em estudos de biorremediação de solos contaminados com herbicidas triazínicos. E também, em ensaios realizados por Fernandes (2005), foram isolados amostras de fungos de solo contaminado com resíduos de petróleo, constatando-se que em 93% das amostras, os fungos do gênero *Aspergillus sp* se mostraram

mais eficientes , devido à sua maior viabilidade na produção de enzimas de interesse biotecnológico, como fenoloxidades e celulasas.

As características metabólicas das espécies de bactérias e dos gêneros de fungos isolados e identificados nesta pesquisa, provavelmente influenciaram de forma positiva no bom desenvolvimento observado por Cordeiro (2007), no mesmo experimento deste estudo, para as espécies paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* HUBER ex DUCKE) e curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* [L. B. SMITH] COPPENS e LEAL). As comunidades microbianas presentes nos solos destes sistemas podem ter promovido através de diferentes mecanismos de ação, o crescimento das plantas.

## 5. CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos permitiu as seguintes conclusões:

- Os parâmetros químicos e microbiológicos determinados neste estudo, possuem sensibilidade para detectar as dissimilaridades entre os solos sob as coberturas vegetais avaliadas.
- Dentre os sistemas de cultivos investigados, o monocultivo florestal com a espécie paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke)) é o mais eficiente para recuperação da qualidade de solos alterados por pastagens.
- As bactérias das espécies *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas veronii*, *Pseudomonas* sp, *Burkholderia* sp, *Burkholderia cepacea*, *Burkholderia cenocepaea* e os gêneros de fungos *Cladosporium* sp, *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp, *Paecilomyces* sp, *Trichoderma* sp e *Absidia* sp, estão presentes nos solos estudados.
- A maior diversidade microbiana está albergada no solo sob o sistema agroflorestal formado pelas espécies paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke)), mogno (*Swetenia macrophylla*, King), freijó (*Cordia goeldiana* Huber) e curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* L.B.Smith).

## REFERÊNCIAS

- ACINAS, S. G.; ANTÓN, J.; RODRIGUEZ-VALERA, F. Diversity of free-living and attached bacteria in offshore western mediterranean waters as depicted by analysis of genes encoding 16S rRNA. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 65, n.2, p. 514-522, 1999.
- ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WATSON, J. D : **Biologia molecular da célula**. 3. ed. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul LTDA, 1997.
- ALENCAR, A.; VIEIRA, I. C. G.; NEPSTAD, D. C.; LEFEBVRE, P. Análise multitemporal do uso da terra e manejo de vegetação em antiga área agrícola da Amazônia. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...**, Salvador: 1996 p.4.
- ALEXANDER, M. **Introduccion a la microbiologia del suelo**. México: Libros y Rditoriales, 1980. 491p.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**, 2nd. New York: Wiley, 1997.
- ALVIM, P. de T. Agricultura apropriada para uso contínuo dos solos na Região Amazônica. **Espaço, Ambiente e Planejamento**, v.20, n. 11, p.3-71, 1991.
- ALTSCHUL, S. F.; GISH, W.; MILLER, W.; MYERS, E. W.; LIPMAN, D.J. Basic local alignment search tool. **Journal of Molecular Biology**, Amsterdam, v. 215, n.3, p.403-410, 1990.
- AMANN, R.; LUDWIG, W.; SCHLEIFER, K. H. **Microbiol. Review**, v.59, n. 143, 1995.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in dormant state. **Biol. Fertil. Soils**, v. 1, n.1, p.81-89, Sept. 1985.
- ARANGUREN, J. ; ESCALANTE, G.; HERRERA, R. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. II. Cacao. **Plant Soil**, v. 67, n.1-3, p.259-269, 1992.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R.T.R.; ABARKELI, R.B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. **Chemosphere**, Oxford, v. 52, p. 799-804, 2003.
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade de solos. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ATLAS, M.; BARTHA, R. Microbial ecology: historical development. In: ATLAS, M.; BARTHA, R.(Ed.) **Microbial ecology**. Menlo Park: Benjamin/Cummings Science, 1998. p.2-26
- AXELROOD, P. E. ; CHOW, M.L.; RADOMSKI, C.C.; McDEROTT, J.M; DAVES J. Molecular Characterization of bacterial diversity from British Columbia Forest soil subjected to disturbance. **Can J Microbiol** n.48, p. 655-674, 2002.

BAKER, R. Biological control: an overview. **Can. Journal Plant Pathol.** v. 9, p.370-380,1987.

BALDINI, J. I.; CARUSO, L.; BALDINI, V. L.D; GOIS, R.; DÖBEREINER, J. Recent advances in biological nitrogen fixation with non legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 1996a.

BATISTA, T. F. C. Resistência induzida ao mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) por meliáceas resistentes no controle da broca (*Hypsipyla grandella* Zeller, 1848), em consórcio e em sistema agroflorestal. Belém. 2005. 80p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Universidade Federal Rural da Amazônia. 2005.

BENT, E. TUZUM ; CHANWAY, C. P.; ENEBAK, S. Alterations in plant growth and root hormone levels of lodgepole pines inoculated with rhizobacteria. **Canadian Journal Microbiology.**, v.47, p.793-800, 2001.

BOLÍVAR, F. Ingeniería genética: herramientas moleculares y los métodos para aislar, caracterizar y manipular el DNA. In: **Fundamentos y Casos Exitosos de la Biotecnología Moderna**. BOLÍVAR, F. (Ed). El Colegio Nacional : México, 2004, p. 57-84.

BONDE, T. A.; ROSSWALL, T.; VICTORIA, R. L. The dynamics of soil organic matter and soil microbial biomass following clearfelling and cropping of a tropical rain forest soil in the Central Amazon. In: BONDE, T. A. **Size and dynamics of active soil matter fraction as influenced by soil management**. Linköping: Linköping University, 1991. cap. 7, p.1-19.

BORNEMAN, J.; TRIPLETT, E.W. Molecular microbial diversity in soils from Eastern Amazonia: evidence for unusual microorganisms and population shifts associated with deforestation. **Appl. Environ. Microbiol.** v.63, p.2647-2653, 1997.

BORNERJ.; HURTIENNE, T.; SOUZA FILHO, F. R. de; SÁ, T. D. de A ; COSTA, F. de A. Forest-based fallow systems: a safety net for small holders in the Eastern Amazon? Trabalho apresentado na Conferência Internacional Rural livelihoods **Forest and Biodiversity**, Bonn, Alemanha, CIFOR, Indonésia : Bogor. Disponível em: <[http://www.zef.de/research\\_activities/shift/publicatios.htm](http://www.zef.de/research_activities/shift/publicatios.htm)>. Acesso em : 02 Fev. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Instrução Normativa n. 001** de 5/09/ 1996. Brasília- DF. 11p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. v.3, 176p.

BRIENZA JUNIOR, S. **Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the Eastern Amazon of Brazil**. 1. ed. Faculty of Agricultural Science the Georg-August-University of Göttingen. 1999. 133p. Tese (Doutorado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 1999.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, p.269-279, 1995.

BROWM, M. E. Plant growth substances produced by microorganisms of soli rhizosphere. **Journal Applied Bacteriology**, v.35, p.443-451, 1972.

BURKHEAD, K. D.; SCHISLER, D. A.; SLININGER, P. J. Pyrrolnitrin production by biocontrol agent *Pseudomonas cepacea* 337 W in culture and colonized wounds of plants of potatoes. **Appl. Environ. Microbiol.**v.60, p.2031-9, 1994.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

CAMARGOS, J. A. A.; CORADIN, V. T. R.; CZARNESKI, C. M.; OLIVEIRA, D. **Catálogo de árvores do Brasil**. Brasília: IBAMA- Laboratório de Produtos Florestais, 2001. 896p.

CARDOSO, A.; MARTINS, P. F. S.; VEIGA, Jr. I. Solos de áreas ocupadas por pequenos agricultores em algumas localidades da microrregião de Marabá-Pa. Pont á Pitre. Universidade das Antillas Guianas. P. 101-123. 1992.

CARPANEZZI, A.A., **Regeneração artificial de Freijó (*Cordia goeldiana* Huber)**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1983. 21p.(circular técnico,39).

CARTWRIGHT, D. K. ; BENSON D. M. Comparison of *Pseudomonas* species and applications techniques for biocontrol of *Rhizoctonia* stem root of poinsettia. **Pl. Dis.**, v.79, p.309-13, 1995.

CATANIO, J. H. **Soil N mineralization dynamicsas affected by purê and mixed application of leavy material from leguminous trees used in planted fallow in Brazil**. 2000. In: German-Brazil Workshop on Neotropical Ecosystems: Achievements and prospects of Cooperative Research, Hamburg, Program and Abstracts, 2000. P.230-231.

CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. **Revist. bras. Ci. Solo**. v.9, p.1-4, 1985.

CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica em solos de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGEM, 1989, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP, 1989. p.35-147.

CHEN, Y. K.; BARRAQUIO, M. W. L.;KNOWLES, R. N<sub>2</sub> fixing pseudomonads and related soil bacteria. **FEMs Microbiology Rewiews**, Amsterdam, v.13, p.95-117, 1994a.

COLLA, L. M.; PRIMAZ, A. L.; LIMA, M.; BERTOLIN, T. E; COSTA, A. V. Isolamento e seleção de fungos para biorremediação a partir de solo contaminado com herbicidas triazínicos. **Ciênc. Agrotec**. Lavras, v.32, n.3, 2008.

COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. V.; BALOTA, E. L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistemas de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n.208, p.84-91, jan/fev.2001.

COLOZZI-FILHO, A.; BOLOTA, E. L.; ANDRADE, D. de S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. D.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.

S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationship.** Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/ DCS, 1999. p.487-508.

COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The nature and practice of biocontrol of plant pathogens.** St. Paul: Amercian Phytopathology Society, 1983. 539p.

CORDEIRO, I. M. C. C. **Comportamento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (HUBER ex DUCK) Barnaby a *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L.B.Smith) Coppes & Leal sob diferentes sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará.** 2007, 115f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2007.

COSTA, D.H.M.; REBELO, F. K.; D'AVILA, J. L.; SANTOS, M. A S.; LOPES, M. L. B. **Alguns Aspectos Silviculturais sob o Paricá.** Belém: BASA, 1999. 23p. (Série Rural, 2)

DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J.A. M. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta Amazônoca e do cerrado da Brasil Central. **Sci. Agric.** v.50, n.2. Piracicaba-São Paulo. 1993.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. do S.A.; BLOCK, A.; SÁ, T. D. de A.; LUCKE, W.; VLEK, P. L. G.. Mecanized land preparation in forest based fallow systems: the experiece of Eastern Amazônia. **Agroforestry Systems**, v.61, p.91-106, 2004.

DENICH, M: **Estudo da importância de uma vegetação secundária nova para o incremento da produtividade do sistema de produção na Amazônia Oriental Brasileira.** Eschborn : EMBRAPA/CPATU-GTZ, 1991. 284p.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método de fumigação-extração.** Seropédica : Embrapa- CNPAB, 1997. P.10 (Embrapa- CNPAB. Documento, 37).

deSOUSA, A. Q. L; PEREIRA, J. O; DEMOSTHENES, L. C. R; BENTES, J. L. S; AMARO-BIANCO, E; SOUZA, A. D. L. Antibioses de extratos de fungos endofíticos de Victoria amazônica contra a bactéria patógena *Ralstonia solanacearum*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GENÉTICA, 54.; Salvador, Ba, **Resumos...** Salvador-Ba, 2008. CD.

DIAS, F.B.M. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação.** Belém : Embrapa Amazônia Oriental. 2003. p.57-63.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. ; STAWART, B. A., (Ed.) **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.

DORAN, J. W.;SARRANTONIO, M ; Liebig, M.A. Soil health and sustainability. **Adv.Agron.**, v.56, p.1-56, 1996.

DROZDOWICZ, A. ; KULINSKA, D. Técnicas de levantamento da microflora telúrica e de isolamento de fungos saprofíticos do solo. IM-UFRJ, 1982. In: ROITMAN, I.; TRAVASSOS, L. R.; AZEVEDO, J. L.(Ed.) **Tratado de Microbiologia.** Manole : São Paulo, 1991. v.2 p.19-58.

DUCKE, A. **As Leguminosas da Amazônia Brasileira**. Serviço florestal. Rio de Janeiro : Ministério da Agricultura. 1939. 88p.

DUMANSKI, J., ESWARAN, H., LATHAM, M., A proposal for an international framework for evaluating sustainable land management. 1992. In: **Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World**. Technical Papers. **International Board for Soil Research and Management**, Bangkok, Thailand, 1991. v. 2, p. 13-15. (IBSRAM Proceeding, 12).

DUNSTAN, W. A; MALAJCZUK, N.; DELL, B. Effects of bactéria on mycorrhizal development and growth of container grown *Eucalyptus diversicolor*. **F. Muell. Seedlings. Plant Soil**, n. 201, p.241-249, 1998,

DUTRA, S.; MASCARENHAS, R. E. B. ; TEIXEIRA, L. B. Controle de plantas invasoras em pastagens cultivadas. In: COSTA, N. A.; CARVALHO, D. M.; BRITO, L.B.T. SIMÃO NETO, M.(Org). **Pastagens cultivadas na Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p.72-98.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p

EMBRAPA. CNPS. **Manual de métodos de análises de solo** 2. ed. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos,1).

ESPÍRITO SANTO (Estado). SECRETARIA DA AGRICULTURA, ABASTECIMENTO, AQUICULTURA E PESCA - SEAG **Silvicultura**: Fatores facilitadores. Portal do Governo do Espírito Santo. 2007. Disponível em: <<http://www.seag.es.gov.br>> Acesso em: 15 fev. 2008.

ETHUR, L. Z; BLUME, E; MUNIZ, M. F. B; FLORES, M. G. V. Seleção de antagonistas fúngicos a *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum* em substrato comercial para mudas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1794-1797. 2007

FALESI, I. C. **Ecosistema de pastagem cultivada na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa CPATU, 1976. 193p. (Embrapa- CPATU. Boletim Técnico, 1)

FALESI, I. C. ; GALEÃO, R. R. ; Recuperação de áreas antropizadas na mesorregião Nordeste Paraense por meio de Sistemas Agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4.; . Ilhéus. BA. **Anais...I lheus** 2004. CD-ROM

FALESI, I. C. ; CRUZ, E.C; PEREIRA, F. B; LOPES, E. C. **Os solos da área de Manaus-Itacoatiara**. Belém : Ipean, 1969. 116p.

FASSBENDER, H. W. ; HEUVELDOP, J. (Ed.) **Avances en la investigacion agroflorestal**. Turrialba : CATIE, 1985, p.237-243.

FERNANDES, O. C. Fungos da Amazônia podem descontaminar o solo após vazamento de petróleo. Centro de Pesquisa Leônidas e Maria Deane – Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Manaus.Am, 2005.<http://www.tnpetroleo.com.br/noticia/15340fungos-da-amazonia-podem-descontaminar..> Acesso em 14 de mai.2009.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA – CENARGEN, 1995. 220p. (EMBRAPA – CENARGEN. Documentos, 20).

FINEGAM, B. The Management potencial of neotropical secondary lowland rain forest. **Forst. Ecol. Manag.**, n.47, p. 295-321. 1992.

FISHER, M. M.; TRIPLETT, E. W. Automated Approach for Ribosomal Intergenic Spacer Analysis of Microbial Diversity and Its Application to Freshwater Bacterial Communities. **Applied and Environmental Microbiology**, v.65 n.10, p.4630-36, 1999.

FOX, G. E.; PECHMANN, K. J.; WOESE, C.R. **Int. J. Syst. Bacteriol.** v. 27, n. 44, 1977.

FRAVEL, D. R. Role of antibiotics in the biocontrol od plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, v.26, p.75-91, 1988.

GALEÃO, R. R. **Diagnóstico de implantações dos projetos de reposição florestal no Estado do Pará**. 2002, 72f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. 2000.

GALLO. G. **Manual de entomologia agrícola**. 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1998. 649 p.

GAMA- RODRIGUES, E. F. ; DePOLLI, H.. Biomassa na ciclagem de nutrientes. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. In: **FERTBIO**, 24.; Santa Maria : UFSM, RS /SBCS. 2002. 1CD-ROM

GAMA –RODRIGUES, E. F.;GAMA-RODRIGUES, A. C. ; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais.**R. Bras. Ci. Solo**, n.21, p.361-365, Dez.1997.

GAMA- RODRIGUES, E.F. da. Biomassa e ciclagem de nutrientes. In; santos, G.A. ; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo** – Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre : Gênese, 1999. p.227-244,

\_\_\_\_\_. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da sarapilheira de povoamentos de eucalipto. 1997. 108f. Tese (Doutorado em solos ) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997.

GARBEVA, P.; VAN VEEN, J. A.; VAN ELSAS, J. D. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. **Ann. Rev. Phytopathol.**, v.42, p.243-270, Sept. 2004.

GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.19, p. 55-60, 1995.

GLANZ, J. T., **Saving Our Soil: Solutions for Sustaining Earth's Vital Resource**. , Boulder, CO, USA.: Johnson Books, 2005.

GLIESSMANN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. Universidade Federal Porto Alegre. 2000. 653 p.

GRANT, W. D. ; LONG, P. E. **Microbiologia Ambiental**. Zaragoza : Editorial Acribia, 1989.

GUIMARÃES, E. M., Occurrence of *Quesada gigas* on *Schizolobium amazonicum* trees in Maranhão and Pará States, Brazil. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.9, p.943-945, set. 2004. Notas Científicas.

GULLISON, R.E.; HUBBELL, S. Regeneración natural de la mara (*Swietenia macrophylla*) em el bosque Chimanes, Bolívia. **Ecologia em Bolívia**, v. 19, p. 43-56, 1992.

HANDELSMAN, J. ; LILES, M.; MANN, D.; RIESENFELD, C.; GOODMAN, R. M. Cloning the metagenome: culture-independent access to the diversity and functions of the uncultivable microbial world. In: **Methods in Microbiology**, Funcional Genomics. WREN, B. and DORREL, N., (Ed.). Netherlands, Amsterdam : Academic Press, 2002. v.33. p. 241-255.

HEDDEN-DUNKHORST, B.; DENICH, M.; VIELHAUER, K.; MENDONZA-ESCALANTE, A.; BORNERJ.; HURTIENNE, T.; SOUZA FILHO, F. R. de; SÁ, T. D. de A ; COSTA, F. de A. Forest- based fallow systems: a safety net for small holders in the Eastern Amazon? In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL RURAL LIVELIHOODS FOREST AND BIODIVERSITY, **Anais...** Bonn, Alemanha: CIFOR, Indonésia : Bogor, 2003.

HEINSDIJK, D. ; BASTOS, A. M.: Inventários Florestais na Amazônia. B. **Setor. Invest. Florest.** Rio de Janeiro, n.6, p.2-100. 1963.

HENTSCHER, U. Molecular evidence for a uniform microbial community in sponges from different oceans. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.68, n.09, p. 4431-40, 2002.

HOFMAN, J.; BEZCHLEBOVÁ, J.; DUSEK, L.; DOLEZAL, L.; HOLOUBECK, I.; AND – L, P.; ANSORGOVÁ, A. ALÝ, S. Novel approach to monitoring of the soil biological quality. **Environment International**, Amsterdam, v. 28, n. 8, p.771-778, 2003.

HOLDWORTH, A. R.; UHL, C. Fire in selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. **Ecological applications**, v.7, p 713-725, 1997.

HOWEL, C. R.; STIPANOVIC, R. D. Control of *Rhizoctonia solani* on cotton seedlings with *Pseudomonas fluorescens* and with an antibiotic produced by the bacterium. **Phytopathology**, v.69, p.480-482, 1979.

HOWEL. C. R; STIPANOVIC, R. D. Suppression of *Pythium ultimum* – induced damping-off of cotton seedlings by *Pseudomonas fluorescens* and its antibiotic, pyoluteorin. **Phytopathology**, v.70, p.712-715, 1980.

HUNTER-CEVERA, J. C. The value of microbial diversity. **Current opinion in Microbiology**, Amsterdam, v. 1, n.3, p. 278- 285, 1998.

HUSSAIN, A.; VANCURA, V. Formation of biologically active substances by rhizosphere and their effect on plant growth. **Folia Microbiol.** v.15, p.468-478, 1970.

HWANG, J.; CHILTON, W. S. BENSON, D. M. Pyrrolnitrin production by *Burkholderia cepacea* and biocontrol of rhizoctonia stem rot of poinsettia. **Biological Control**, v.25, p.56-63, 2002.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS Renováveis da Amazônia: uma proposta interdisciplinar de educação ambiental; temas básicos 1994. 334p. 2 mapas.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2005. Disponível em : <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 28 out.2005

ICRAF.-International Centert of Research in Agroforestry. **Schizolobium parahyba.**, abril. 2006. Disponível em:< <http://www.worldagroforestry.org/subcontent.asp?>> Acesso em: 13 mai. 2006.

INGHAM, R. E. **The Fungal Community, Its Organization and Role in the Ecosystem**, 2.ed. New York : Marcel Dekker, 1992. p. 669-690.

ISLAM, K. R. ; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agric. Ecosys. Environ.**, v.79, p.9-16, 2000.

IVARSON, K. C. Changes in decomposition rate, microbial population and carbohydrate content from soil bacteria. **Soil Sci**, Ottawa, v.57, p.129-137, 1977.

JAYASWAL, R. R; FERNANDEZ, M. A.; SCHROEDER, R. G. Isolation and characterization of a *Pseudomonas* strain that restricts growth of various phytopathogenic fungi. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.56, p.1053-8. 1990.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. M. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A. ; LADD, J. N., (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. v.5, p.415-47.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: A system of quantitative pedology. New York: CAB International, 1941. 286p.

JOERGENSEN, R. G.; BROOKES, P. C. Ninhydrin-nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> soil extracts. **Soil Biology and Biochemistry**, Berlin, v. 22, p. 1023-1027, 1990.

JUO, A. S. R. ; MANU, A. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.58, p.49-60, 1996.

KADIR, J. M. A; RAHMAN, T. M. M; MAHMUD, R; ABDUL, R. ; BEGUM, M. M. Extraction of fungal substances from *Burkholderia cepacea* with antibiotic activity against *Colletotrichum gloeosporioides* on papaya (*Carica papaya* L.). **Internat. Journal of Agriculture e Biology**, v. 10, n.1, 2008.

KARLEN, D. L., MAUSBACH, M. j., DORAN, J. W., CLINE, R. G., HARRIS, R. F., SHUMAN, G. E., Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.61, p. 4-10.1997.

KARLEN, D.L. ; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: Why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n.3, p. 145–156, 2003.

KATZNELSON, H.; COLE, S. E. Production of gibberellins-like substances by bacteria and actinomycetes. **Canadian Journal Microbiol**, v.11, p.733-741. 1965.

KELLER, M.; ZENGLER, K. Tapping into microbial diversity. **Nature Reviews**.Amsterdam v.2, p.141-150, 2004.

KENNEDY, A. C. Bacterial diversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 65-76, 1999.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: BITTON, G. (Org.) **Encyclopedia of Environment Microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 2002. p.3116-3126.

KENNEDY, A. C; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristic of soil quality. **J. Soil Water Conserva.**, n. 50, p.243-248, 1995.

KLOEPPER, J. W; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria and plant growth under gnotobiotic conditions. **Phytopathology**, v.71, p.642-644, 1981.

KONDO, M. K. ; DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Rev. Bras.Ci. Solo**, v.23, p.211-218, 1999.

KUSKE, C. R. ; BARNS, S. M.; BUSCH, J. Diverse uncultivated bacterial groups from soils fo the arid southwestern United States that are present in many Geographic regions. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 63, n.9, p.3614-21, 1997.

LAMB, F. B. **Mahogany of tropical America: Its ecology and management**. Michigan: University of Michigan, 1966. 219p.

LANDI, L; VALORI, F; ASCHER, J; RENELLA, G; FALCHINI, L. ; NANNIPIERI, P. Root exudate effects on the bacterial communities, CO<sub>2</sub> evolution, nitrogen transformations and ATP content of rhizosphere and bulk soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.38, p.509-516, 2006.

LANE, D. L. ; PACE, B. ; OISEN, G. J. ; STAHAL, D. A.; SOGIN, M. L. ; PACE, N. R. Rapid determination of 16S ribosomal RNA sequences for phylogenetic analyses. **Proceedings of National Academy of Science of the USA**, Washington, v.82, p.6955-6959, 1985.

LAWRENCE, L. M.; HARVEY, J.; GILMOUR, A. Development of random amplified polymorphic DNA typing method for *Listeria monocytogenes*. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 59, p. 3117-3119, 1993.

LEDO, I. A. de M. **O cultivo do curauá no lago grande de Franca**. Belém: Banco da Amazônia - BASA - 1967. 23 p.

LEE, K. E. The functional significance of biodiversity in soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco. **Anais...Acapulco: Internacional Society of Soil Science**, 1994. p. 168-182.

LEONG, J. Siderophores: their biochemistry and possible role in the biocontrol of plant pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v.24, p.187-209, 1986.

LIFSHITZ, R.; KLOPPER, J. W.; KOSLOWKIM, M.; SIMONSON, C.; CARLSON, J.; TIPPING, E. M.; ZALESKA, I. Growth promotion of canola (rapessed) seedling by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotic condition. **Canadian Journal of Microbiology**, v.33, p.390-395, 1987.

LOCATELLI, M.; VIEIRA, A. M.; MACEDO, R. S: **Sistemas agroflorestais e a conservação do solo**. <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/19047.htm>> Acesso em 20 abr. 2009.

LODGE, D. J; CANTRELL, S. Fungal communities in wet tropical forest: variation in time and space. **Can. Journal Bot.**, n. 36 p.1391-1398, 1995.

LONGO, R. M. **Modificações em parâmetros físicos e químicos de Latossolos argilosos decorrentes da substituição de floresta e de cerrado por pastagens**. 1999. 102p. Tese (Doutorado em solos) – Universidade de Campinas, Campinas. 1999.

LOPES, A. S. Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo. Piracicaba, **POTAFÓS**, 1983. 162p.

LOREAU, M. Microbial diversity, producer- decomposer interaction and ecosystem processes: a theoretical model. **Proceedings: Biological Sciences**, London, v. 268, p. 303-3098, 2001.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Manual de Identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa. Ed. Plantarum. 1992. 352p.

LOUWS, F. J.; RADEMAKER, J. L. W.; AND BRUIJN, F. J. The three Ds of PCR-based genomic analysis of phytobacteria: diversity, detection, and disease diagnosis. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v. 37, p. 81-125, 1999.

LUCY, M; REED, E ; GLICK, B. R. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. **Antonie Leeuwenhoek**, v.86, p.1-25, 2004.

LUDWIG, W. ; SCHLEIFR, K.H. **FEMS Microbiol. Rev.** v. 15, n. 155, 1994.

LUGO, A.E.; BROWN, S. Management of tropical soils as sinks of atmospheric carbon. **Plant Soil**, v.149; p.27-41, 1993.

LUIZÃO, R. C. C.; BONDE, T. A.; ROSWALL, T. Sazonal variation of soil microbial biomass – The effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central Amazon. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 24, p.805-813, 1992.

LUVIZOTTO, D. M. **Caracterização fisiológica e molecular de Burkholderia spp. Associada às raízes de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.teses.uso.br>>. Acesso em: 02 jun 2008.

LUZ, W. C. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas e bioproteção. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, v.4, p.1-50, 1996.

MACKENSEN, J. ; HOLCHER, D. ; KLINGE, R. ; FOLTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. **Forest. Ecol. Manag.**, v.86, p.121-128, 1996.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Microbiologia de Brock**. São Paulo : Prentice Hall, 2004.p.312-330.

MAFONGOYA, P. L.; GILLER, K. E.; PALM, C. A. Decomposition and nutrient release patterns of prunings and litter of agroforestry trees.**Agroforestry Systems**, v.38, p. 77-97, Abr. 1997.

MANTOVANELO, C. M; MELO, I. S. Isolamento e seleção de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas de tomate ( *Lycopersicon esculentum*). **Summa Phytopathologica**. v.20, p.123-126, 1994.

MAO, D. M.; MIN, W. M.; YU, L. L.; MARTENS, R.; INSAN, H. Effects of afforestation on microbial biomass and activity in soils of tropical China. **Soil Biology e Biochemistry**, v.24, p.865-872. 1992.

MARTIN, J. K. The influence of rhizosphere microflora on the availability of <sup>32</sup>P-myoinositol hexo phosphate phosphorus to wheat. *Soil Biology and Biochemistry*, v.5, p.473-483,1973.

MARTYNIUK, S.; WAGNER, G. H. Quantitative and qualitative examination of soil microflora associated with different management systems. **Soil Sci.**, Baltimore, v.125, p. 343-350, 1978.

MARUMOTO, T.;ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K.H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biochem.**, Oxford, v.14, p.469-475, 1982.

MATSOUKA, M. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.27, p.425-433. 2003.

MAYHEW, J, E. and NEWTON, A. C. **The Silviculture of mahogany**. London. CABI. Publishing. 1998. 226 p.

McDONALD, M. A.; HEALEY, J.R. ; STEVENS, P. A. The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.92, p.1-19, 2002.

MEDINA, J. C. **Plantas fibrosas da flora mundial**.Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1959. 913 p.

MELO, I. S de; AZEVEDO, J. L de. **Ecologia micrbiana**. Jaguariúna-SP: Embrapa-CNPMA, 1998.

MELO, J. E. de; CARVALHO, G. M. de; MARTINS, V. A. **Espécies madeireiras substitutas do mogno (*Swietenia macrophylla* King.)**. Brasília, IBAMA, 1983. 16p. (Série Técnica, 6 )

MELO, V. S. Avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas floresta primária-capoeira-pastagem na Amazônia oriental por meio de indicadores de sustentabilidade microbiológicos e bioquímicos do solo. 2007, 120p.**Tese** (Doutorado em Ciências Agrárias).Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa –Amazônia Oriental, Belém, 2007.

MENEZES, F. L. C.; FERRAZ, P. A.; PINHA, J. F. M.; FERREIRA, L. A.; BRILHANTE, N. A. **Comportamento de 24 espécies arbóreas tropicais madeireiras introduzidas na Parque Zoobotânico**, Rio Branco- Acre: UFAC/PZ, v.1.1995.

MOORE, W. J. **Physical Chemistry**. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1972.

MORAES, J. F. L. Conteúdo de carbono e nitrogênio e tipologia nos solos da Bacia Amazônica. Piracicaba. 1991. 84p. **Dissertação de Mestrado**.Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1991.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625p.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; THIERRY, D.; MARTINS, P. F. S: Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesq. Agropec. Brás.**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409 – 1418, nov. 2001.

MULLIS, K. ; FALOONA, F. Specific synthesis of DNA *in vitro* via a polymerase catalysed chain reaction. **Methods Enzymol.** v.55, p.335-350, 1987.

MUYZER, G. : DGGE/TGGE a method for identifying genes from natural ecosystems. **Curr. Opin. Microbial**, v.2, p.317 -322. 1999.

MUZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo. In: Plantio direto no Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981. P.43-57. (Circular, 23).

NAIR, P. K. R. (Ed.) **Agroforestry Systems in the Tropics**. Dordrecht, Holanda: Kluwer, Academic Publishers, 1989. 664p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Soil and Water Quality**: an Agenda for Agriculture. Committee on Long-Range Soil and Water Conservation, Board of Agriculture, National Research Council. Washington, DC : National Academy Press, 1993.

NECTOUX, F.; KURODA, Y. **Timber from the South Seas**: an analysis of Japan's tropical timber trade and environmental impact. Gland: World Wildlife International, 1989.

NEHL, D. B.; ALLEN, S. J.; BROWN, J. F. Deleterious rhizosphere bacteria: an integrating perspective. **Applied Soil Ecology**, v.5, p.1-20, 1996.

NETO, A.E.; CARVALHO, J. G. (ed). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS; 1999b. 818p.

NEVES, M. C. P; RUNJANEK, N. G. Ecologia das bactérias diazotróficas nos solos tropicais. In: MELO, I. S de; AZEVEDO, J. L de. (Ed.) **Ecologia microbiana**. Jaguariuna: Embrapa-CNPMA, 1998.

NEWTON, A.C.; LEAKEY, R. R. B.; MESEN, J. F. 1993. Genetic variation in mahoganies: its importance, Capture and utilization. **Biodiversity and Conservation**, v.2, n.2, p.114-126, 1993.

NIETO, K. F. ; FRANKENBERGER JÚNIOR, W. T. Biosynthesis of cytokininins by *Azotobacter* and *Pseudomonas*. **Soil Biology Biochemistry**, v.21, p.967-972. 1989a.

NORMAND, P. ; COURNOYER, B. ; SMINONET, P. ; NAZARET, S. Analysis of a ribosomal RNA operon in the actinomycete *Frankia* . **Gene**, v.111, p.119-124, 1996.

NYE, P. H. ; GREENLAND, D. J. **The soil under shifting cultivation**. Harpenden, Commonwealth Bureau of soil, 1960, 156p.( Technical Communication, 51)

ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science**, v.164, p.262-270, 1969.

OHASHI, S. T; SILVA, P. de T. E. da; YARED, J. A. G.; KATO, O. R.; BRIENZA JÚNIOR, S. Sistema silviagrícola multiestratificado; II- Comportamento produtivo de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber), açaí *Euterpe oleracea*, Mart) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd.) ex Spr.) no município de Tomé-açu (Pa) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5, 2004, **Anais ...** Curitiba: (EMBRAPA-CNPQ, 2004. Documentos 98) p.122-124. Out./2004. CD-ROM.

OLIVEIRA, J. S; SOUSA, S. E; OLIVEIRA, L. L.; CARVALHO, D. A.; MOREIRA, D. M.O. Distribuição do fungo *Cladosporium cladosporioides* em regiões produtoras de café da Bahia. **Bahia Agricul.**, v.6, n.3, 2004.

OLIVEIRA, J. S.; CARNIERI, N.; VILELA, E. F.; BATISTA, M. S. Identificação de componentes químicos nos brotos terminais de *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* e *Swietenia macrophylla* King. **Experientiae**, v.29, n. 9, p.25-142, 1986.

PARKIN, T. B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J., (Ed). **Methods for assessing soil quality**. Madison, WI : Soil Science Society of Americ, 1996. p.231-246. (Special Publication, 49)

PARKINSON, D.; GRAY, T. R. G.; WILLIAMS, S. T. **Methods for studying the ecology of soil-microorganisms**. Oxford : Blackwell, 1971, 116p.

PAUL, E. A.; HARRIS, D.; COLLINS, H. P.; SCHULTHESS, U. ; ROBERTSON, G. P. Evolution of CO<sub>2</sub> and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. **Appl. Soil Ecol**, v.11, p.53-65, 1999.

PEREIRA, A. P.; MELO, C. F. M. de; ALVES, S. M. O paricá ( *Schizolobium amazonicum* HUBER), características gerais da espécie e suas potencialidades de aproveitamento na indústria de papel e celulose. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v.16<sup>A</sup>, n.2 p.1340-1344, 1982.

PEREIRA, R. M.; SILVEIRA, E. L.; ALVES, L. M. C.; LEMOS, E. G. M. Avaliação de populações de possíveis rizobactérias em solos sob espécies florestais. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** v.32 n.5 Viçosa. Minas Gerais, 2008.

PERIN, S.; SOUSA, S. A. G.; VANDERLLI, E. V.; MATOS, J. C S.; FERNANDES, E. C.M. Recuperação de pastagens abandonadas e degradadas através de sistemas agroflorestais na Amazônia ocidental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002. **Anais...** Ilhéus, 2002. 1 CD-ROM

PFENNING, L.; EDUARDO, B. P.; CERRI, C.C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.31-37,1992.

PINTO, J. A. Impactos sócio-ecológicos da mineração e da garimpagem na Amazônia Oriental ( Estado do Pará). In: FLORES, C.M e MITSCHERLICH T. A (org). **Realidades Amazônicas no fim do século XX**. Belém. : UNAMAZ / UFPA. 1990. p.433- 457.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. **Soil Biochem.**, v.19, p.159-164, 1987.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology e Biochemistry**, Oxford, v.19, p.159-164, 1997.

PRADE, C. A.; MATSUMURA, A. T.; OTT, A. P; PORTO, M. L. Diversidade de fungos do solo em sistemas agroflorestais de *citrus* com diferentes tipos de manejo no Município de Roca Sales, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biociências**, Porto Alegre, v.15, n.1, p.73-81, 2007.

PRADO, H. **Solos do Brasil**: Gênese, morfologia, classificação, levantamento e manejo. Piracicaba, 2005. 281p.

RANJARD, L.; POLY, F.; NAZARET, S. Monitoring complex bacterial communities using culture-independent molecular techniques: application to soil environment. **Research in Microbiology**, v.151, p.167-177, 2000.

RAPPÉ, M. S.; GIOVANNONI, S. J. The uncultured microbial majority. **Ann. Rev. Microbiol.**, v.57, p.369-394, 2003.

RAYNER, A. D; LODDY, L. **Fungal Decomposition of Wood: Its Biology and Ecology**. Chichester : Wiley , 1988.

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHERI, H. R. Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômicos. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/TraRibaski>>.htm Acesso em 11 dez. 2007.

ROBLETO, E. A.; BORNEMAN,; TRIPLETT, E. W. Effects of bacterial antibiotic production on rhizosphere microbial communities from a culture-independent perspective. **Appl. Environ. Microbiol.** v.64, p.5020-5022, 1998.

ROCHA, A. E. P.; MELO, I. S. Ação antogonística de rizobactérias contra *Phytophthora parasítica* e *P. citrophthora* e seu efeito no desenvolvimento de plântulas de citrus. **Revista Brasileira de Fruticultura** . n.16. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em 08 mai. 2009.

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibration for conductimetric determination fo carbon dioxide. **Soil biology and biochemistry**, v. 31, p.2059-2060, 1999.

RODRIGUES, R. C. Biomassa microbiana e acúmulo de liteira em sistemas agroflorestais em formação com Meliáceas. 2006, 84p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental, Belém, 2006.

ROITMAM, J.; MAHONEY, N. E.; JANISIEWICZ, W. J. Production and composition of phenilpyrrole metatabolites produced by *Pseudomonas cepacea*. **Appl. Microbial. Biotechnol.**, v.34, p.381-6, 1990.

ROLSTON, D. E.; HARPER, L. A.; MOSIER, A. R.; DUXBURY, J. M., **Agricultural Ecosystem Effects on Trace Gases and Global Climate Change**. Madison, WI, USA : American Society of Agronomy, 2000. (Special Publication, 55)

RONDON, M.; GOODMAN, M.; HANDELSMAN, J. The earth's bounty: assessing and accessing the soil microbial diversity. **Trends Biotechnol.** v.17, p.403-409, 1999.

ROSSELÓ-MORA, R.; AMANN, R. The species concept for prokaryotes. **FEMS Microbiology Review**, Amsterdam, v. 25, n.1 p. 39-67, 2001.

ROUW, A. de. The fallow period as a weed-break in shifting cultivation (tropical wet forests). **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.54, p.31-43, 1995.

ROVIRA, A. D. ; DAVEY, C. B. Biology of the Rhizosphere. In: CARSON, C. D. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville : University Press of Virginia, 1974. p. 153-194.

RUEGGER, M. J. S.; TORNISIELO, S. M. Atividade de celulases de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia. S. Paulo, Brasil. **Revista Bras. Bot.**, v.27, n.2, p.205-211. 2004.

RUIVO, M. L. P. **Vegetação e características do solo indicadores de reabilitação de áreas mineradas na Amazônia Oriental**. 1998, 101f. Tese (Doutorado em Solos)-Universidade Federal de Viçosa. Viçosa- MG. 1998.

RUMJANEK, F. D. **Introdução à biologia molecular**. Rio de Janeiro, Âmbito Cultural, 2001. 153p.

SAKAMOTO, K.; OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO<sub>2</sub> evolution and total soil microbial biomass. **Biol. Fertil. Soils**, v.17, p.39-44, 1994.

SANCHES, P. **Science in Agroforestry**. *Agroforest Systems*, v.30, p.5-55, 1995.

SANCHEZ, P. A. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. John Wiley and Sons, New York. 1976.

SANTIN, M. F. **Florestamento na Metade Sul**. Porto Alegre : Associação Gaúcha De Empresas Florestais. 2007.

SANTOS, M. J. C. Sequestro de carbono em sistemas agroflorestais com eucalipto em pequena propriedade rural no Pontal do Paranapanema. Piracicaba.2007. **Tese**. (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo. 2007.

SANTOS, V. B; CASTILHOS, D. D; CASTILHOS, R. R. V; PAULETTO, E. A; GOMES, A. S; SILVA, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **R. Brás. Agrociência**, v. 10, n.3, p.333-338, jul/set.2004.

SCHEINERT, P.; KRAUSSE, R.; ULLMAN, U.; SOLLER, R.; KRUPP, G. Molecular differentiation of bacteria by PCR amplification of the 16S-23S rRNA spacer. **J. Microbiol. Methods** v.26, p.103-117, 1996.

SCHNEIDER, A. T. **Isolamento e caracterização de bactérias degradadoras de gasoline commercial**. 2008. 150f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Rio Grande do Sul, 2008.

SCHWIEGER, F.; TEBBE, C. C. A new approach to utilize PCR-single-strand-conformation polymorphism for 16S rRNA gene-based microbial community analysis. **Applied and Environmental Microbiology**, New York, v. 35, p.4870-4876, 1998.

SEBRAE- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Página do empreendedor. Disponível em:<<http://www.sebrae.com.br>>Acesso em: 28 jun. 2007.

SILVA, M. F.; LISBOA, P. L. B.; LISBOA, R. C. L. **Nomes vulgares das plantas amazônicas**. Manaus : CNPq INPA,1977. 222p.

SMITH, J. L.;PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimation. In: BOLLAG, J.M.; STOTZKY, G. (Ed.) **Soil Biochemistry**, v. 6, 1990. p.357-396.

SMITH, N.; DUBOIS, J.; CURRENT; LUTZ, E.; CLEMENT, C. **Experiências Agroflorestais na Amazônia brasileira: Restrições e Oportunidades**. Programa Piloto para proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília. 1998. 146p.

SOMMER, R.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. de A.; COELHO, R. F. R.; FOLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for sub-soil nutrient accumulation. **Nutrient Cycl. In Agroecosyst.**, v.68, p.257-271, 2004.

SONG, O. R.; LEE, S. J.; LEE, Y. S.; LEE, S. C.; KIM, K. K.; CHOI, Y. L. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkholderia cepacea* DA 23 isolated from cultivated soil. **Braz. J. Microbiol.**, v.39, n.1, p.151-156, 2008.

SOTTERO, A. N.; FREITAS, S.; MELO, A. M. T.; TRANI, P. S. Rizobactérias e alface: colonização rizosférica, promoção de crescimento e controle biológico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo.** v.30, n.2, Viçosa. 2006.

SOUCHIE, E. L.; ABOUD, A. C. S. Solubilização de fosfato por microrganismos rizosféricos de genótipos de guandu cultivados em diferentes classes de solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n.1, p.11-18. 2007.

SOUZA, J. L. A fertilidade de solos sob manejo orgânico. **Boletim Inf. SBCS**, v.25. p.14-16, 2000.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of change in soil organic matter. **Aus. J. Soil Res.**, v.30, p.195-207, 1992.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 4, p. 143-144, 2003.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Acta Agriculturae**, Estocolmo, v. 49, p.1-24, 1999.

TANAKA, A.; SAKUMA, T.; OKAGAWA, N. The oxisol ultisol área of the Amazon river system. Sapporo, Faculty of Agriculture, Hokkato University. 1989, 105p.

TEIXEIRA, C. A. D.; BIANCHETTI, A. Insetofauna da badarra (*Schizolobium amazonicum* Ducke): registro de ocorrência e espécies com potencial de danos ao cultivo desta árvore em Rondônia. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES DE RONDÔNIA, 3, 1997, Porto Velho. **Resumos...** Porto Velho: UNIR, 1997. p.18.

TEREZO, E. F. de M. **Relatório técnico anual da fazenda Tramontina** Belém, 2005. 12p.

THOMASHOW, L. S.; WELLER, D. M. Role of phenazine antibiotic from *Pseudomonas fluorescens* in biological control of *Gaeumannomyces graminis* var. tritici. **Journal Bacteriology**, v.170, p.3499-3508, 1988.

TISSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, v.371, p.783-785, 1994.

TOMÉ JÚNIOR., J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba Agropecuária, 247p. 1997.

TORSVIK, V.; ØREAS, L. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. **Current Opinion in Microbiology**, Amsterdam, v.5, n.3, p.240-245, 2002.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Ci. Solo**, v.2, p.195-276, 2002

TRAN VAN, V.; GILLIS, M.; HEBBER, K. P.; FERNANDEZ, M.; SERGER, P.; MARTEL, M. H.; BERGE, O.; MAYER, J. M.; HEULIN, T. Isolation from rice rhizosphere of a new species of nitrogen-fixing Proteobacteria, belonging to the genus Burkholderia. In: HEGAZI, N. A.; FAYEZ, M.; MONIB, M. (Ed.) **Nitrogen fixation with non legumes**. Cairo: Americam University, 1994. p.229-309.

TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S.; BENCHIMOL, R. L.; ALBUQUERQUE, F. C.; OLIVEIRA, N.T. **Crosta-negra causada por *Phyllachora schizolobiicola* subsp. *schizolobiicola* em paricá, no Estado do Pará**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1999. 2p. (Comunicado Técnico, 98).

UETA, J.; PEREIRA, N. L.; SHUAMA, I. K.; CERDEIRA, A. L. Biodegradação de herbicidas e biorremediação: microrganismos degradadores do herbicida atrazina. **Biotecnologia**, Brasília, v.10, p.10-13, 1999.

UHL, C.; VERÍSSIMO, A.; MATTOS, M. M.; BRANDINO, Z.; VIEIRA, J. C. G. Social, economic and ecological consequences of selective logging in Amazon forest : the case of Thailand. **Forest: Ecology and Management**, v. 46, p. 243-273, 1991.

VAN PEER, R.; SCHIPPERS, B. Lipopolysaccharides of plant growth promoting *Pseudomonas sp* strain WES 417 r induce resistance in carnation to *Fusarium* wilt. **Netherland Journal of Pathology**, v.98, p.129-139, 1992.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.6, p. 703-707, 1987.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um podzólio vermelho escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 35-42. 2000.

VASCONCELOS, C. A.; CAMPOLINA, D. C. A.; SANTOS, F. G. Resposta da soja e da biomassa de carbono no solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p.67-77, 1999.

VASCONCELOS, L. G. T. R. **Biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária na Amazônia Oriental**. 2002. 80f. Dissertação ( Mestrado em agronomia- Solos e Nutrição de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Belém. 2002.

VAZ DA SILVA, P. P. **Sistema Agroflorestal para recuperação de mata ciliar em Piracicaba, SP**. 2002. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais ) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de são Paulo, Piracicaba, 2002.

VENTURIERI, G. C. Reproductive ecology of *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke and *Sclerobium paniculatum* Vogel (leg. Caesalpinoidea) and its importance in forestry management projects. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do projeto EMBRAPA/DIFID. Belém: EMBRAPA-CPATU 1999. p.91-97. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 123),

VENZKE FILHO, S. P. **Microbiota e sua atividade em uma cronosequência sob plantio direto**. 1999. 65 f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1999.

VERISSÍMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. **Impacto da atividade madeireira e perspectivas para o manejo sustentável da floresta numa velha fronteira da Amazônia**: o caso de Paragominas. Belém: IMAZOM-Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia, 1996.

VIDAL, W.N.; VIDAL, M. R. R. **Taxonomia vegetal**. Viçosa: UFV, 2000. 89p. (Cadernos didáticos, 57).

VOS, P. R.; HOGERS, M.; BLEEKER, M.; VAN DE LEE REIJANS, T.; HORNES, M.; FRITJERS, A.; POT, J.; PELEMAN, J.; KUIPER, M; ZABEAU, M. A new concept for DNA fingerprinting. **Nucleic Acids Research**, London, v. 23, p.4407- 4414, 1995.

WARD, D. M. A natural species concept for prokaryotes. **Current Opinion in Microbiology**. Amsterdam, v. 1, n.3, p. 271-277, 1998.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biology Review**, Praga, v. 67, p. 321-358, 1992.

WARDLE, D. A. Metodologia para a quantificação da biomassa microbiana no solo. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. (Ed.) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p.419-436.

WATTS, J. E. M.; HUDDLESTON-ANDERSON, A. S.; WELLINGTON, E. M. H. Bioprospecting. DEMAIN, A. L. and DAVIES, J. E. In: **Manual of Biotechnology**. (Ed.) Washington, D.C.: ASM press, 1999. p. 631-641,

WELLER, D. M; COOK, R. J. Supression of take-all of weat by seed treatments with fluoesnent pseudomonads. **Phytopatology**, v.73, p.463-469, 1983.

WHITE, T.; BRUNS, T.; LEE, S.; TAYLOR, J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: INNIS, M. A.; GELFAND, D. H. J. J.; SNINSHY, J. J.; WHITE, T. J. **PCR Protocols: A guide to methods and Applications**. New York, Academic Press, 1990. p.315-322.

WIKIPÉDIA. Desenvolvido pela Wikipedia Foundation- WF. Apresenta conteúdo enciclopédico. Descrição botânica da espécie *Ananas comosus* var. *erectifolius* Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Anan%C3%A1s&oldid=3086687>>. Acesso em: 16 out. 2006.

WITTIG, R. General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: MARKERT, B. (Org.) **Plant as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment.** Weinheim: VCH, 1993. p.3-27

WOESE, C. R. Sequenciamento do gene rR16S. **Microbiol. Rev.** v.51, n. 221, p.30-45.1987.

WOLF, J. M.; BROWN, A. H.; GODDART, D. R. An improved electrical conductivity method for accurately following changes in respiratory quotient of single biological sample. **Plant Physiology** v.27, p.70-80, 1952.

WOLLUM, A. G. Cultural methods for soil microorganisms. In: MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties.** Madison: Soil Science of American, 1982. p.781-802.

WONG, M. T. F.; SWIFT, R.S. Role of organic matter in alleviating soil acidity in farming systems. In: RANGEL, Z.(Ed.) **Handbook of Soil Acidity.** Marcel Dekker, New York, p.337-338. 2003.

YABUUCHI, E.; KOSAKO, Y.; OYAIZU, H.; YANO, I.; HOTTA, H.; HASHIMOTO, Y.; EZAKI, T.; ARAKAWA, M. Proposal of *Burkholderia* gen. nov. and transfer of seven species of the genus *Pseudomonas* homology group II to the new genus, with the type species *Burkholderia cepacea* ( Palleroni and Holmes, 1981) com. nov. **Microbiology and Immunology**, Tokio, v.36, p.1251-1275, 1992.

YARED, J. G. A. **Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia.** In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, SP. 1990. v.1, p.119-122.

YONG, A **Agroforestry for soil conservation.** Wallingford: CAB International. 1989. 276p.

ZANUNCIO, J. C.; PEREIRA, F. F.; ZANUNCIO, T. V.; MARTINELLI, N. M. ; PINON, T. B. M.; GUIMARÃES, E. M. Occurrence of *Quesada gigas* on *Schizolobium amazonicum* trees in Maranhão and Pará States, Brazil. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.9, p.943-945, set. 2004. (Notas Científicas).

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n.3, p.391-411, set/dez. 2003.

**APÊNDICES**

APÊNDICE A – Resultado da probabilidade ( $p$ ) do teste F para as variáveis físicas, obtidos pela Análise de Variância.

Variáveis físicas	Fonte de Variação		
	A (Sistema de cultivo)	B (profundidade)	A X B (interação)
ARGILA	0,0000 **	0,0000 **	0,0000 **
SILTE	0,0000 **	0,0000 **	0,0460 *
AREIA FINA	0,0000 **	0,0546 *	0,3938 NS
GROSSA	0,0000 **	0,0000 **	0,0017 **
DPART	0,0084 **	0,0690 NS	0,3020 NS
DSOLO	0,0000 **	0,0000 **	0,0231 *

\*: significativo ao nível de 5% de probabilidade;

\*\* : significantivo ao nível de 1% de probabilidade;

NS: não significante.

APÊNDICE B - Resultado da probabilidade ( $p$ ) do teste F para as variáveis químicas, obtidos pela Análise de Variância.

Variáveis químicas	Fonte de Variação		
	A (Sistema de cultivo)	B (profundidade)	A X B (interação)
pH	0,0005 **	0,1550 NS	0,3350 NS
MO	0,0024 *	0,0000 **	0,0260 *
P	0,2400 NS	0,0280 *	NS NS
K	0,0000 **	0,0000 **	0,0300 *
Ca	0,0000 **	0,0000 **	0,0120 *
Mg	0,0000 **	0,0000 **	0,0001 **
Al	0,0900 NS	0,3700 NS	NS NS
H + Al	NS	0,0150 *	NS NS
SB	0,0000 **	0,0000 **	0,0020 **
T	0,0000 **	0,0000 **	0,1666 NS
V	0,0000 **	0,0350 *	0,3340 NS
m	0,0000 **	0,0005 **	0,3200 NS
Corg	0,0001 **	0,0000 **	0,3330 NS
Ntotal	0,0000 **	0,0000 **	0,0000 **

\*: significativo ao nível de 5% de probabilidade;

\*\* : significantivo ao nível de 1% de probabilidade;

NS: não significante.

APÊNDICE C - Resultado da probabilidade ( $p$ ) do teste F para as variáveis microbiológicas, obtidos pela Análise de Variância.

Variáveis microbiológicas	Fonte de Variação		
	A (Sistema de cultivo)	B (profundidade)	A X B (interação)
CBM	0,0000 **	0,0000 **	0,0004 **
Qmic	0,0000 **	0,0000 **	0,0190 *
NBM	0,0000 **	0,0000 **	0,0000 *
NBM/NT	0,0000 *	0,0000 *	0,0096 *
CO2	0,0002 **	0,0000 **	0,2033 NS
qCO2	0,0000 **	0,0003 **	NS
BAC	0,0071 **	0,0000 **	NS
FUN	0,0013 **	0,0000 **	0,0527 *
C/N	0,0001 **	0,3279 NS	0,0134 *

\*: significativo ao nível de 5% de probabilidade;

\*\* : significativo ao nível de 1% de probabilidade;

NS: não significante.