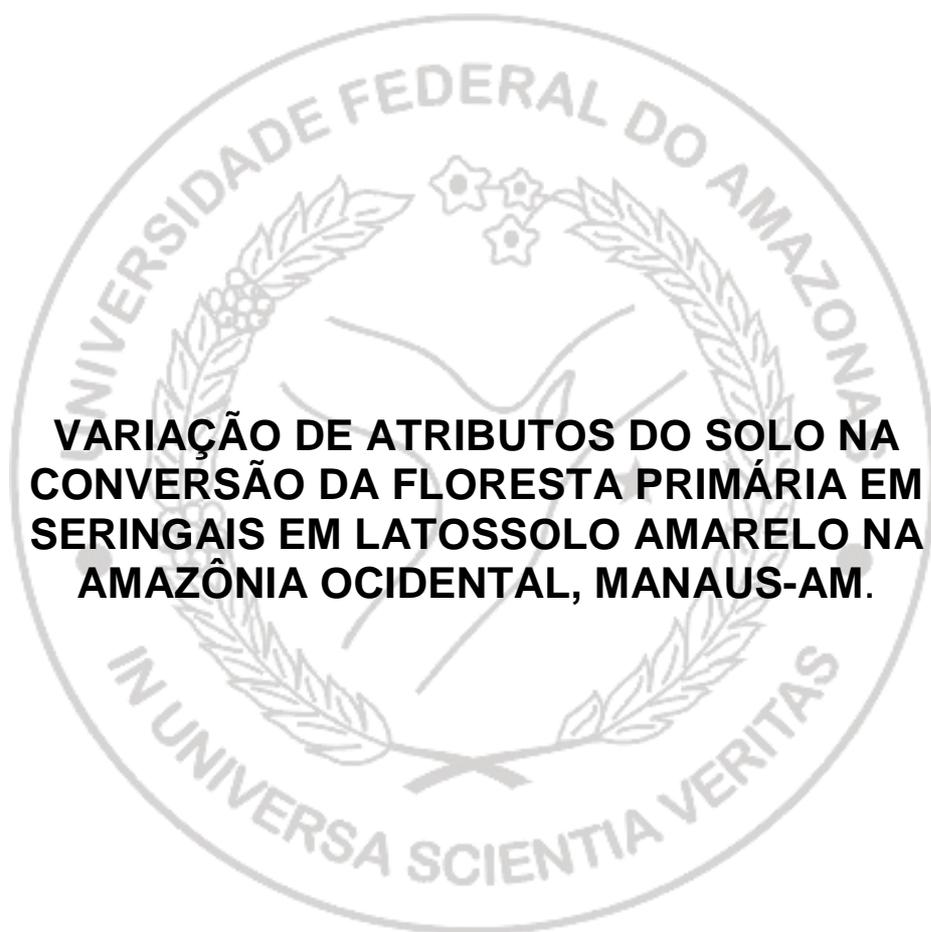


UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL



REAN AUGUSTO ZANINETTI

MANAUS  
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

REAN AUGUSTO ZANINETTI

VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO NA  
CONVERSÃO DA FLORESTA PRIMÁRIA EM  
SERINGAIS EM LATOSSOLO AMARELO NA  
AMAZÔNIA OCIDENTAL, MANAUS-AM.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Adônis Moreira  
Coorientadora: Dra. Larissa Alexandra Cardoso Moraes

MANAUS  
2012

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Z31v      Zaninetti, Rean Augusto

Variação de atributos do solo na conversão da floresta primária em seringais em latossolo amarelo na Amazônia Ocidental, Manaus-AM/ Rean Augusto Zaninetti.- Manaus: UFAM, 2012. 105f.; il. color.

Tese (Doutorado em Agronomia Tropical)— Universidade Federal do Amazonas, 2012.

Orientador: Prof.º, Dr.º. Adônis Moreira

Co-orientadora: Dr.ª Larissa Alexandra Cardoso Moraes

1.Solo- Fertilidade 2. Matéria orgânica 3. Biomassa microbiana I. Moreira, Adônis (Orient.) II. Moraes, Larissa Alexandra Cardoso (Coorient.) III. Universidade Federal do Amazonas IV. Título

CDU (1997) 631.41(811.3)(043.2)

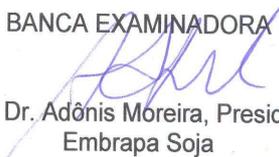
REAN AUGUSTO ZANINETTI

VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO NA  
CONVERSÃO DA FLORESTA PRIMÁRIA EM  
SERINGAIS EM LATOSSOLO AMARELO NA  
AMAZÔNIA OCIDENTAL, MANAUS-AM.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

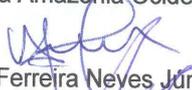
Aprovado em 4 de maio de 2012

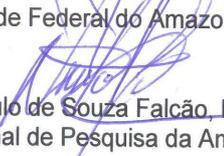
BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Adónis Moreira, Presidente  
Embrapa Soja

  
Dr. Everton Rabelo Cordeiro, Membro  
Embrapa Amazônia Ocidental

  
Dr. José Clério Rezende Pereira, Membro  
Embrapa Amazônia Ocidental

  
Prof. Dr. Afrânio Ferreira Neves Júnior, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

  
Dr. Newton Paulo de Souza Falcão, Membro  
Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia

**REAN AUGUTO ZANINETTI** – nascido na cidade de São Carlos – SP em 30 de junho de 1981.

Graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – SP em 2007, e teve como orientador no seu trabalho de Graduação o Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis e coorientadora a Dra. Liandra Maria Abaker Bertipaglia. Durante a formação acadêmica foi bolsista do Programa de iniciação científica financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por dois anos.

Titulou-se Mestre em Agronomia com área de concentração em Ciência do Solo junto à Universidade Estadual Paulista FCAV, Câmpus de Jaboticabal, em novembro de 2009, sob a orientação do Prof. Dr. Wanderley José de Melo e coorientação do Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo, como bolsista CAPES.

Ingressou no curso de Doutorado em Agronomia Tropical com área de concentração em Propriedades e manejo de solos tropicais junto à Universidade Federal do Amazonas, em março de 2010, sob a orientação do Dr. Adônis Moreira e coorientação da Dra. Larissa Alexandra Cardoso Moraes, como bolsista CAPES e titulou-se doutor em maio de 2012.

# DEDICO

*Aos meus pais, Reinaldo e Antonia  
pela educação, amor, carinho,  
ensinamento e  
muita dedicação  
muito obrigado*

*A você Reinaldo  
meu grande amigo,  
meu irmão e companheiro,  
te devo muito  
Obrigado por tudo.*

*Aos meus avós,  
Alfredo (In Memoriam) e Aparecida  
pelo carinho ao longo  
de todos esses anos.*

*amo muito vocês!!!!!!!*

## OFEREÇO

*A uma pessoa muito especial que entrou  
em minha vida e tornou-se de fundamental  
importância, ajuda e companheirismo,  
mesmo nas horas distantes.*

*Você mora em meu coração*

*Gosto muito de você*

*Janiffe*

*À Deus,*

*pelo dom da vida, e por ter trilhado  
caminhos certos para minha jornada*

*e*

*À Nossa Senhora Aparecida,*

*pela sua constante*

*proteção*

*AGRADEÇO EM ESPECIAL*

## *AGRADECIMENTOS*

Agradeço especialmente ao Dr. Adônis Moreira e Dra. Larissa Moraes, pela amizade, orientação, incentivos, oportunidades e ensinamentos transmitidos nesses anos de convivência. Serei eternamente grato!

Aos Drs. Everton Cordeiro e José Clério Pereira, pesquisadores da Embrapa (CPAA) e Prof. Dr. Afrânio Ferreira Neves Júnior pela amizade e contribuições na qualificação, defesa e finalização da tese.

Ao Dr. Newton Paulo de Souza Falcão pelas contribuições na defesa.

Ao Professor da Universidade Federal do Acre (UFAC) Dr. José Ribamar pela ajuda, amizade e oportunidades de aprender, além de lecionar para seus alunos de graduação. Muito obrigado!

Aos Professores do programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas cursadas e ao José Nascimento, secretário do programa pela ajuda e dedicação prestada. Obrigado NASSA!

Agradeço com carinho a todos meus amigos e familiares que de alguma forma sempre estiveram na torcida por mim.

Aos amigos Cristóvão (Boleragem), Gilson (Peruano) e também Rodolfo, Carla, Lúcia, Liliane, Gerlândio, Anselmo, obrigado pelo apoio e todas as outras amizades que fiz em Manaus.

A Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade do doutoramento, a Embrapa e a CAPES pelo apoio a pesquisa e financiamentos prestados.

## RESUMO

A heveicultura pode constituir importante alternativa de plantio para grandes extensões de terras degradadas pelo País, pois possuem bom desenvolvimento em Latossolos, acumulando matéria orgânica e melhorando a ciclagem de nutrientes. Por isto, o objetivo desse trabalho foi avaliar através de atributos químicos e biológicos do solo, o potencial da seringueira no equilíbrio, no estoque e na ciclagem de nutrientes. Para isso, foi estudada uma cronosequencia formada por uma floresta primária de referência e em áreas de cultivo de seringueira (*Hevea* spp.) plantadas há 5, 18, 19, 20 e 44 anos, onde foram coletadas cinco amostras de solo em cada área, nas profundidades 0-10 cm; 11-20 cm e 21-40 cm, nas quais foram determinada a fertilidade do solo, biomassa microbiana, fracionamento da matéria orgânica e atividade enzimática. Os resultados mostraram que a remoção da floresta ocasionou em diminuição média de 46% do estoque de carbono orgânico no solo, com relação ao C da biomassa microbiana, essa redução foi de 32%, independente da idade do seringal. Verificou-se o predomínio da fração humina, seguida pelas frações dos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos e atividade enzimática sendo mais elevada nos solo sob floresta primária. A sucessão floresta primária para seringais causa aumento da atividade microbiana e pouco altera a fertilidade do solo. Após o décimo oitavo ano de idade do seringal há recuperação de metade do teor de matéria orgânica do solo.

**Palavras-Chave:** *Hevea* spp., matéria orgânica, biomassa microbiana, fertilidade do solo, enzimas do solo.

## ABSTRAT

The cultivation of natural rubber can be an important alternative to planting large tracts of land degraded in the country, as they have good development in Oxisols, accumulating organic matter and improving nutrient cycling. Therefore the objective of this study was to evaluate through chemical and biological soil attributes, the potential of rubber in the balance, in stock and cycling of nutrients. For this, we studied a chronosequence consisting of a primary forest of reference and areas of rubber trees planted 5, 18, 19, 20 and 44 years ago, where it was taken five soil samples in each area, in 0-10 cm, 11-20 cm and 21-40 cm of depth, in this samples were determined the soil fertility, microbial biomass, organic matter fractionation and enzymatic activity. The results showed that removal of the forest resulted in an average reduction of 46% of the stock of organic carbon in soil, with respect to microbial biomass carbon, this reduction was 32%, regardless of age of the plantation. There was a predominance of the humin fraction, followed by humic and fulvic acids and enzyme activity was higher in soil under primary forest. The succession of primary forest to rubber plantations cause an increase in the microbial activity and does not make much change to the soil fertility. After 18 years of the cultivation there is recovery of half of the content of organic soil matter.

**Key words:** *Hevea* spp. Organic matter, microbial biomass, soil fertility, soil enzymes.

## LISTA DE FIGURAS

	Páginas
<b>FIGURA 1 -</b> Aspecto visual do seringal com cinco anos de idade no período de coleta dos dados, campos experimental Embrapa CPAA, Manaus, AM. ....	41
<b>FIGURA 2 -</b> Relação entre a matéria orgânica com atributos químicos do solo.. ....	64
<b>FIGURA 3 -</b> Relação entre a matéria orgânica com o nitrogênio total e com o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM).....	76
<b>FIGURA 4 -</b> Carbono orgânico e carbono da biomassa microbiana obtidos pelo método indireto IRGA e por irradiação e extração (IR), em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob uma floresta primária e seringais com diferentes idades, ao longo do perfil de 0-40 cm. ....	72
<b>FIGURA 5 -</b> Nitrogênio total e nitrogênio da biomassa microbiana obtido por irradiação e extração (IR), em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob uma floresta primária e seringais com diferentes idades, ao longo do perfil de 0-40 cm.....	73
<b>FIGURA 6 -</b> Dinâmica do carbono orgânico e do carbono da biomassa microbiana (CBM) obtidos pelo método indireto IRGA, em um Latossolo Amarelo distrófico típico, decorrente da idade de seringais em comparação com a floresta primária, na profundidade de 0-10 cm. ....	75
<b>FIGURA 7 -</b> Atividade enzimática de um Latossolo Amarelo distrófico sob uma floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm. ....	81

## LISTA DE TABELAS

Páginas

<b>TABELA 1</b> - Caracterização física (areia, silte, argila e densidade de partícula-DP) do Latossolo Amarelo distrófico sob uma floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, Manaus-AM, 2012 .....	44
<b>TABELA 2</b> - Estatística descritiva dos atributos químicos e biológicos em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 11-20 cm e 21-40 cm, Manaus-AM, 2012. ....	51
<b>TABELA 3</b> - Circunferência do caule há 1,3 m do ponto de enxerto (cm), massa seca da parte aérea (MSPA), estoque de carbono na biomassa aérea (ECBA), Manaus-AM, 2012. ....	57
<b>TABELA 4</b> - Atributos químicos de um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 11-20 cm e 21-40 cm, Manaus-AM, 2012. ....	63
<b>TABELA 5</b> - Teores de micronutrientes disponível de um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, Manaus-AM, 2012. ....	65
<b>TABELA 6</b> - Carbono orgânico, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana, quociente metabólico e respiração basal e induzida, em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 11-20 cm e 21-40 cm, Manaus-AM, 2012. ....	71
<b>TABELA 7</b> - Carbono solúvel em água, ácido fúlvico, ácido húmico, C - humina e N - humina, em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 11-20 cm e 21-40 cm, Manaus-AM, 2012. ....	79

# SUMÁRIO

	Páginas
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Específico .....</b>	<b>17</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Bioma amazônico .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Seringueira.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. Atributos dos solos amazônicos .....</b>	<b>26</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1. Descrição dos locais.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2. Coleta das amostras do solo.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3. Acúmulo de fitomassa de carbono.....</b>	<b>42</b>
<b>4.4. Caracterização física e química do Solo .....</b>	<b>43</b>
<b>4.4.1. Análises físicas .....</b>	<b>43</b>

4.4.2. Análises químicas .....	44
4.5. Análises da matéria orgânica.....	45
4.5.1. Biomassa microbiana .....	45
4.5.2. Fracionamento da matéria orgânica.....	46
4.6. Atividade enzimática do solo .....	47
4.7. Análise estatística dos dados .....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
5.1. Estatística descritiva.....	48
5.2. Acúmulo de fitomassa de carbono.....	57
5.3. Fertilidade do solo .....	58
5.4. Matéria orgânica do solo .....	66
5.5. Atividade enzimática do solo .....	80
6. CONCLUSÕES.....	82
7. REFERÊNCIAS.....	83

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica abrange uma área no território brasileiro de aproximadamente 4,5 milhões de km<sup>2</sup>, no qual, quimicamente, a maioria dos solos da região são distróficos ( $V\% < 50$ ) ou álicos ( $m\% > 50$ ), com saturação por alumínio (Al) superiores a 50% e a saturação por bases menores que 50%. Os teores das bases [potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg)] e do fósforo (P) estão abaixo dos valores críticos utilizados na interpretação da análise do solo, o qual, juntamente com o elevado teor de alumínio representam os maiores empecilhos para o desenvolvimento radicular, afetando negativamente o desenvolvimento das plantas (SANCHEZ et al., 1982; DEMATTÊ, 1988).

Solos de baixa fertilidade consistem num problema para qualquer tipo de cultivo. Com a retirada da floresta e o uso do fogo para aumentar a “fertilidade” do solo (CRAVO; SMITH, 1997; MERTZ, 2002) para fins agrícolas, é causada a quebra dos ciclos do carbono e dos nutrientes. Esses ciclos operam graças à entrada fotossintética do gás carbônico e pela decomposição acelerada e contínua da matéria orgânica do solo realizada pelos microrganismos decompositores (MALAVOLTA, 1987).

A bacia Amazônica apresenta predominância de Latossolos distróficos (VIEIRA; SANTOS, 1987; JACOMINE; CAMARGO, 1996), sendo que os Latossolos Amarelos, além da baixa fertilidade e da alta saturação por Al, apresentam problemas físicos com limitações quanto à permeabilidade restrita (elevada coesão dos agregados, pois o solo é extremamente duro quando seco) e lenta a infiltração de água. Quando apresentam textura mais argilosa têm certa tendência ao selamento superficial, condicionado pela ação das chuvas torrenciais próprias dos

climas equatoriais e tropicais (CORREIA et al., 2004). Portanto, o desmatamento e o uso indevido do solo acarretam mudanças significativas na fertilidade e no teor e na qualidade da matéria orgânica do solo (MOS), levando assim, a processos de degradação do solo (DIAS; GRIFFITH, 1998).

Sendo assim, a heveicultura pode constituir em importante alternativa de plantio para grandes extensões de terras degradadas pelo País, pois estudos comprovaram bom desenvolvimento da seringueira em Latossolos, (CUNHA et al., 2000; CARMO et al., 2000; 2002; 2004), além da ciclagem de nutrientes (KINDEL et al., 2006), contudo, a utilização da seringueira como alternativa para recuperação de áreas degradadas, ainda é pouco estudada, sendo a maioria dos estudos avaliando o efeito de calagem e adubações na produtividade (BATAGLIA et al., 1988; 1998; 1999; MURBACH et al., 2003; VIÉGAS et al., 2000) ou da influência dos fatores edáficos no desenvolvimento das plantas (CARMO et al., 2000). Esse potencial da seringueira (*Hevea brasiliensis*) ocorre devido, em condições de área de escape, ser uma espécie de hábito decíduo, que apresenta senescência e renovação foliar anual, ao cair no solo, tais fragmentos vegetais formam uma camada espessa de serapilheira que se acumula nos horizontes superficiais do solo ano após ano, contribuindo para o acúmulo de matéria orgânica no solo (RIOS et al., 2006; MOREIRA et al., 2009).

A serapilheira acumulada representa um reservatório potencial de nutrientes, sendo a liberação destes, dependente da taxa de decomposição do material depositado (REIS; BARROS, 1990). Como a decomposição e a mineralização dos resíduos vegetais dependem da atividade microbiana, principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de

energia dentro solos, a quantificação da sua biomassa, fornece informações importantes para o entendimento da ciclagem de nutrientes (PAUL; CLARK, 1989).

A alteração da qualidade e da quantidade de matéria orgânica influencia a atividade da biomassa microbiana, que é a principal responsável pela ciclagem de nutrientes e fluxo de energia dentro do solo, atuando na transformação da matéria orgânica, estocagem do carbono e fonte de nutrientes (JENKINSON; LADD, 1981).

No entanto, mensurações da biomassa microbiana têm sido usadas em estudos do fluxo de C e N, ciclagem de nutrientes e produtividade das plantas em diferentes ecossistemas terrestres. Essas medidas permitem a quantificação da biomassa microbiana viva presente no solo em um determinado tempo. Possibilita também, a associação da quantidade de nutrientes imobilizados e a atividade da biomassa microbiana com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo, servindo de base para estudos de formação e ciclagem da matéria orgânica. Como a biomassa microbiana constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica, conseqüentemente, mais sensível que o C orgânico e N total em aferir mudanças nos níveis de matéria orgânica do solo causado pelo manejo e práticas de cultivo (PAUL; CLARK, 1989).

No solo, a biomassa microbiana é influenciada pelo teor de argila dos solos. A argila aumenta a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes, proporciona maior capacidade tampão de acidez e protege os microorganismos contra predadores (SMITH; PAUL, 1990). Solos com alto teor de argila apresentam maior imobilização de N e C pela biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

A conversão da floresta primária na Amazônia por culturas de interesse econômico provoca diminuição significativa da biomassa microbiana e fertilidade do

solo (MOREIRA; MALAVOLTA, 2004), causando quebra nos ciclos do carbono e dos nutrientes, apresentando impactos relevantes nesse agroecossistema, levando-o a degradação. Sabe-se que com o reflorestamento dessas áreas ocorre uma recuperação lenta e contínua da quantidade e qualidade da matéria orgânica e com demanda por produtos do setor primário torna-se necessária a busca de alternativas que solucione esses dois problemas, sendo uma delas a exploração em monocultivos ou consorciamento com seringais, planta nativa da região Amazônica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Avaliar através de atributos químicos e biológicos do solo, o potencial da seringueira (*Hevea spp.*) no equilíbrio, no estoque e na ciclagem de nutrientes.

### **2.2. Específico**

Avaliar se a sucessão floresta primária para seringais apresenta alteração:

- a) Na fertilidade do solo, através dos pH, Ca, Mg e Al trocáveis, K, P, Na disponíveis e micronutrientes;
- b) No teor de MO, através do carbono orgânico, nitrogênio total e atividade microbiana;
- c) Na atividade enzimática do solo.

### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1. Bioma amazônico**

A Amazônia brasileira é constituída por aproximadamente 426,5 milhões de hectares de florestas (GFRA, 2005), sendo uma região tropical imensa, com alta diversidade biológica e com muita água, onde a floresta interage fortemente com a atmosfera, rios e lagos (DAVIDSON; ARTAXO, 2004). A floresta tropical densa de terra firme, cobre a maior parte da Região Amazônica, estando situada, predominantemente, em solos de baixa fertilidade, sua sobrevivência e produtividade deve-se à sua alta diversidade vegetal, composta por espécies nativas adaptadas às condições climáticas e nutricionais do solo. Essas espécies têm baixa demanda por nutrientes minerais e dependem de uma eficiente reciclagem da matéria orgânica produzida pela própria floresta, sendo que a reciclagem depende fortemente da atividade biológica que, em condições naturais na floresta, é muito favorecida pela temperatura e umidade apropriadas da região (JORDAN, 1985; FERNANDES et al. 1997).

Segundo Sioli (1991), a floresta Amazônica é um ecossistema autossustentável, ou seja, se mantém com os próprios nutrientes num ciclo biogeoquímico permanente. Tal fato implica uma eficiente ciclagem de nutrientes, que garante um estoque estável destes elementos no sistema ao longo do tempo, sendo isto de suma importância uma vez que os solos sob as florestas tropicais são altamente intemperizados e, geralmente, têm baixa disponibilidade de nutrientes. Além disso, a floresta primária protege o solo da erosão e lixiviação dos nutrientes minerais no sistema através da reciclagem orgânica, e apresenta-se como

ecossistema em 'clímax', pelo alcance de um equilíbrio dinâmico entre a produção e o consumo de matéria orgânica (SCHUBART; LUIZÃO, 1984).

Luizão (2007) relata que na floresta Amazônica, a decomposição da serapilheira, geralmente, ocorre no mesmo ano, sendo as taxas de decomposição na floresta fortemente dependentes da ação dos organismos do solo (microrganismos, mesofauna e macrofauna) e esta é muito mais forte na estação chuvosa (com umidade mais favorável à ação biológica) do que na estação seca.

Sendo a serapilheira o conjunto de fragmentos orgânicos de origem vegetal produzidos pela floresta, além de servir como um indicador direto da produtividade primária do ecossistema florestal e de ter papel importante na cobertura e proteção do solo, funciona como uma contínua e importante fonte de nutrientes, sendo assim, o principal agente responsável pela ciclagem de nutrientes do solos em ecossistemas florestais tropicais, devido à sua rápida renovação e decomposição sobre o solo (JORDAN, 1985; VIEIRA, 1988; SWAMY; PROCTOR, 1994).

A liberação dos nutrientes minerais contidos na serapilheira e na matéria orgânica do solo é essencialmente controlada pela biota do solo. Os fungos têm papel primordial na ciclagem de nutrientes nos solos tropicais de baixa fertilidade e geralmente muito ácidos. Através de associações com fungos, as raízes podem absorver nutrientes da serapilheira em decomposição, além de aumentar o volume de solo explorado por elas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Apesar da grande exuberância, a floresta Amazônica está estabelecida, em grande parte, em solos pobres em nutrientes minerais (MOREIRA; MALAVOLTA, 2002), o que torna sua manutenção dependente dos ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico. Desse modo, os nutrientes no processo de ciclagem passam do meio biótico para o abiótico e vice-versa (GERALDES et al., 1995), sendo esse

processo denominado de equilíbrio dinâmico (POGGIANI; SCHUMACHER, 2004). Com a remoção da floresta esse ciclo é quebrado, alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo (MALAVOLTA, 1987). Conseqüentemente, ocorre uma diminuição da atividade da biomassa microbiana, principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo (DALAL, 1998), e que exerce influência tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes (JENKINSON; LADD, 1981). Os efeitos desta perturbação nos atributos do solo interferem na capacidade de regenerar a floresta ou mesmo na introdução de outras plantas (NASCIMENTO; HOMMA, 1984).

Segundo Moreira e Malavolta (2004), o desmatamento e a introdução de outras culturas em ecossistemas, como os da Amazônia Ocidental, podem acarretar mudanças significativas na qualidade e quantidade da matéria orgânica e nas características físicas e químicas do solo. A compreensão da dinâmica da matéria orgânica e da fertilidade do solo devido a retirada da floresta primária e a introdução de outras culturas são informações importantes para a compreensão desse agroecossistema.

No Estado do Amazonas, observou-se que, com o desmatamento e o posterior reflorestamento com plantas nativas da região, mesmo após 10 anos de cultivo, o estoque de carbono no solo foi cerca de 60% inferior ao da floresta primária, enquanto que o C da biomassa microbiana foi 67% menor (MOREIRA; COSTA, 2004). Da mesma forma, com a sucessão floresta primária e cupuaçuza de três anos e sucessão floresta primária e cupuaçuza de três anos, cultivado em área anteriormente com pastagem de *Brachiaria humidicola*, mantida por oito anos,

reduziram o carbono da biomassa microbiana em 33,3% e 24,4%, respectivamente (MOREIRA; MALAVOLTA, 2004).

### **3.2. Seringueira**

A seringueira foi uma das últimas espécies vegetais domesticadas pelo homem. Seu cultivo estende-se por cerca de 10 milhões de hectares, dos quais 92% estão situados no Sudeste da Ásia, onde a heveicultura constitui a principal fonte de sustento de mais de 20 milhões de produtores rurais e suas famílias. Entre os fatores que conduziram a essa expansão bem sucedida, destaca-se a melhor adequação dos cultivos perenes arbóreos ao trópico úmido, por conservarem grande parte da estrutura que determina as relações de troca de matéria e energia das florestas pluviais tropicais e sua estabilidade, em face do intemperismo intensivo, determinado pelos altos níveis de radiação solar e precipitação pluviométrica (MORAES; MOREIRA, 2003). Outras formas de agroecossistemas como pastagens e cultivos de culturas anuais, com estrutura e funcionamento muito diferentes da floresta, têm-se mostrado menos sustentáveis no trópico úmido (MORAES et al., 1996; MOREIRA; MALAVOLTA, 2002).

Por ser uma planta nativa das proximidades do eixo equatorial, a região do globo terrestre com melhor aptidão para o desenvolvimento da seringueira está localizada entres os Trópicos de Câncer e Capricórnio. Contudo, a cultura encontra-se plantada na China, acima do Trópico de Câncer, e no Brasil, abaixo do Trópico de Capricórnio, no Estado do Paraná (CARMO et al., 2009).

Apesar do Brasil ser o centro de origem das espécies de *Hevea*, o País apresenta área plantada, tecnologia e produção baixa, face aos demais países

produtores de borracha natural, sendo com isso um grande importador de borracha natural. Relatórios recentes indicam que em 2010 foram importadas cerca de 137 mil toneladas, para um consumo nacional estimado em 254 mil toneladas e uma produção de 117 mil toneladas de borracha seca. Esses dados evidenciam a necessidade de se intensificar o plantio desta cultura, a fim de atender à demanda interna de borracha natural (SERINGUEIRA, 1999; 2000; 2010; IBGE, 2010).

A presença do fungo *Microcyclus ulei* (P. Henn.) V. Arx., causador do mal-das-folhas da seringueira, que provoca a queima das folhas e pode até levar as plantas à morte, tem sido o principal impedimento da expansão da heveicultura, principalmente na Amazônia Tropical Úmida, levando assim a diminuição da produção de borracha e à conseqüente migração das plantações de seringueira para outras localizações, que apresentam estação de seca prolongada no período da desfolha, sem presença da doença (GASPAROTTO et al., 1997; PEREIRA, 1997).

A seringueira, na Amazônia tropical úmida, apresenta com o uso da enxertia de copa com híbridos de *H. pauciflora* com *H. brasiliensis* e *H. pauciflora* com *H. guianensis* grande potencial para solução do problema causado pela doença do mal-das-folhas e ocupação ordenada de modo sustentável por produtores (MORAES; MORAES, 2008; MORAES et al., 2008), além do fator econômico, existe o ecológico, visto que, nas condições edafoclimáticas da Malásia (SHORROCKS, 1965), ocorre a deposição no solo de 5 a 7 toneladas de serapilheira fina por hectare ano, próximo aos valores obtidos por Klinge e Rodrigues (1968), de 7,3 tonelada, em floresta primária sob Latossolo Amarelo distrófico localizada no município de Manaus, Estado do Amazonas.

A implantação da heveicultura em áreas subutilizadas e principalmente em áreas degradadas, utilizando material genético adequado e tecnologia, implicará

armazenamento de carbono devido à produção contínua de biomassa (JACOVINE et al., 2006).

Frente aos acordos internacionais sobre as mudanças climáticas, segundo Jacovine et al. (2006), a heveicultura deve ser considerada uma atividade que beneficia o sistema climático global, pois sendo uma espécie florestal, armazena carbono (C) e seu produto principal a borracha natural leva a uma redução na exploração do petróleo quando da fabricação de borracha sintética. Cada tonelada de borracha natural produzida corresponde à redução da emissão de 4,8 toneladas de C decorrente da fabricação da mesma quantidade de borracha sintética, que somados ao total de carbono fixado estimado na biomassa do seringal e na borracha produzida, corresponde a, aproximadamente, 1019,0 toneladas de gás carbônico por hectare, retirados do sistema durante 33 anos (APABOR, 2003; MORAES; MOREIRA, 2003).

Segundo Alvarenga e Carmo (2006), plantios de seringueira preservam mananciais, protegendo e melhorando as características físicas do solo, o clima, a fauna e a flora. Além disso, por ser uma essência florestal perene, poderá contribuir para redução do efeito estufa, pois promove a captura dos gases ao retirar CO<sub>2</sub> da atmosfera e incorporá-lo à biomassa. Nesse sentido, pesquisas realizadas na Malásia, demonstraram que o C sequestrado por cultivos de seringueiras é equivalente ao capturado por florestas naturais.

Para o cultivo de seringueira, os solos necessitam ter atributos que possibilitem a fixação e o desenvolvimento de um sistema radicular vigoroso, além de adequado suprimento de água e um conteúdo suficiente de nutrientes disponíveis. Os mais importantes atributos físicos do solo no cultivo da seringueira são: a profundidade, a estrutura, a textura, consistência e compactação, por sua vez

as químicas são: pH e o total de íons disponíveis e trocáveis. Sendo assim, dos atributos dos solos, os físicos são intrínsecos e mais duráveis que os químicos, que são mais passíveis de mudança pelas práticas de manejo (VIEIRA; GAMA, 2000).

Em sistemas agroflorestais, no qual a seringueira faz parte do componente, o ciclo da matéria orgânica, geralmente, ocorre a partir da produção de resíduos vegetais que se incorporam ao solo, onde serão decompostos e incorporados em função dos processos de mineralização e humificação (FASSBENDER, 1993). A disponibilidade de nutrientes na fração orgânica é muito variável e a disponibilização não é imediata, já que requer mineralização prévia. Sendo assim uma liberação lenta e progressiva é garantia de que elementos minerais móveis no solo, como é o caso do nitrogênio, permaneçam retidos e não sejam facilmente perdidos por lixiviação (KASS, 1996).

Embora ocorra o rompimento do equilíbrio da matéria orgânica do solo com a queimada, utilizada no preparo da área para plantio, em seringais cultivados na Costa do Marfim, a partir de 20 anos plantados, a relação entre o ácido fúlvico (pouco estável) e o ácido húmico (estável) volta a apresentar valor idêntico ao da floresta, com reconstituição da capacidade de troca de cátions, enquanto que até essa idade o teor de matéria orgânica do solo sob o seringal era de 70% do solo sob floresta, sendo provável que a tendência de acréscimo seja mantida. (BI; OMONT, 1987).

Karthikakuttyama et al. (1998), em solo cultivado com seringueira há 60 anos, na Índia, em 2 ciclos de cultivo, observaram que os teores de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, e potássio trocáveis, mantiveram-se próximos aos do solo sob a floresta, com acréscimo do teor de fósforo e ligeira redução do nitrogênio e do potássio. Tais valores são concordantes com a prática do cultivo da seringueira, em

que após o primeiro ciclo de cultivo torna-se desnecessária a aplicação de fósforo para promover o acúmulo de nova fitomassa até a entrada em sangria. Sendo assim, foram encontrados teores de matéria orgânica mais altos que os da maioria dos solos de floresta primária Amazônica foram encontrados sob seringueiras de 17 anos, com copas enxertadas de *H. pauciflora*, no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus. Em amostra de 0 a 10 cm de profundidade foi encontrado o teor de M.O. de 38,1 g/kg; de 10 a 20 cm, 29,4 g/kg; de 20 a 40 cm, 17,4 g/kg e de 40 a 60 cm, 12,6 g/kg, que equivalem ao estoque de aproximadamente 23 toneladas de carbono por hectare (MORAES; MOREIRA, 2003).

Segundo Moraes e Moreira (2003), os valores da restituição anual de nutrientes são, portanto, amplamente superiores à exportação de nutrientes com a produção de borracha, sendo suficientes para suprir as necessidades da produção e do crescimento vegetativo na fase de exploração. Em registros de cultivos sucessivos de seringueira, com até quatro ciclos em uma mesma área, sem perda de produtividade, mostram que o sistema funciona como um todo de modo sustentável, como resultado do desempenho de diferentes componentes da dinâmica do sistema.

Portanto, Rodrigo e Munasinghe (2011) concluíram que a heveicultura passa a ser não só a atividade mais rentável dentre todas, mas já pode ser considerada também a atividade com maior potencial para sequestro de carbono dentro da agroindústria.

### 3.3. Atributos dos solos amazônicos

O solo é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais, composta por areia, sedimentos e partículas de argila e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, podendo ter sido modificados por interferências antrópicas (EMBRAPA, 2006). No solo há um contínuo intercâmbio de moléculas e íons entre as fases sólida, líquida e gasosa que são mediados pelos processos físicos, químicos e biológicos (DORAN et al., 1994).

O rompimento da relação solo com a vegetação nativa provoca alterações físicas, químicas e biológicas, as quais quando não monitoradas e controladas adequadamente, levam à queda de produtividade e, como consequência, à degradação do ecossistema, isto porque a vegetação nativa protege o solo da erosão e contribui para manter o equilíbrio entre os fatores de formação e de degradação (SIQUEIRA et al., 1994).

Segundo Fageria (2002), os processos físicos, químicos e biológicos, somado ao aspecto ecológico, classificam o solo quanto a sua qualidade e determinam a produtividade de uma cultura. Portanto, Doran e Parkin (1994) definiram a qualidade do solo como sendo capacidade em funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover plantas saudáveis.

As características físicas, químicas e biológicas interagem de maneira complexa, determinando a qualidade e capacidade de uso do solo. Dessa forma, a qualidade pode ser inferida a partir das mudanças avaliadas nos seus atributos ou nos atributos do ecossistema (SEYBOLD et al., 1997).

Contudo, no solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à variação no tempo e no espaço, ocorridos no solo. Assim, qualquer variação pode alterar diretamente a estrutura e a atividade biológica e, conseqüentemente a fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas, podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas. Diante disso, a variação dos atributos supracitados, determinada pelo manejo e uso do solo, e avaliação dos mesmos são importantes para aprimorar o manejo visando à sustentabilidade do sistema (BROOKES, 1995).

No entanto, Nicolodi (2006) preconiza que a avaliação do manejo e uso do solo é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto e inter-relações de atributos, já que se tem verificado que quando estudados isoladamente não são suficientes para explicar a perda ou o ganho potencial dos cultivos de determinado solo.

A substituição das florestas nativas por diversos manejos e usos promove uma queda no estoque de carbono do solo (ALVARENGA et al., 1999; MENDES et al., 2003; NDAW, 2003; MERCANTE et al., 2005), sendo que cultivo excessivo reduz a produtividade das plantas, causa erosão do solo resultando em perda de estrutura física, matéria orgânica e conseqüentemente de grande parte da biodiversidade dos solos, onde são encontrados microrganismos que influenciam os atributos físicos e químicos do solo, estando intimamente ligados à própria formação e fertilidade do solo (ZILLI et al., 2003).

A textura é uma característica permanente do solo, e depende do tipo do material de origem e dos agentes formadores. É uma das características mais estáveis, sendo pouco modificada pelos cultivos ou outras práticas. Além disso, é

considerada um dos fatores mais importantes na retenção de água no solo, além de estar diretamente relacionada a outros atributos como consistência, capacidade de troca de cátions, coesão, porosidade e estrutura, sendo de grande importância no estudo e manejo dos solos (BRADY, 1989; LAL,1999; RESENDE et al., 2002; GAMA, 2004).

Silva (2003) afirma que as diversas proporções existentes entre as frações granulométricas influenciam marcadamente na retenção de água e nutrientes e originam a classificação textural. A densidade do solo é um parâmetro influenciado pela estrutura, textura, compactação, manejo e tipo de culturas, apresentando uma correlação direta com a resistência à penetração, podendo ser alterada, principalmente, pela matéria orgânica (VIEIRA, 1988; BRADY, 1989).

A densidade do solo tende a aumentar com a profundidade, em virtude do menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo e, principalmente, devido à redução na proporção de matéria orgânica ao longo do perfil (CAETANO, 2000; ARAÚJO et al., 2004; COSTA et al., 2006). Nesse contexto, Vieira (1988) conclui que em solos tropicais, o cultivo excessivo é preocupante, pois os minerais de argila são predominantemente 1:1 com capacidade de troca catiônica dependente da matéria orgânica, sendo que cultivos intensivos têm a propriedade de aumentar os valores de densidade, em contra partida a adição de altos conteúdos de matéria orgânica contribui para diminuir a densidade do solo.

As alterações nas condições químicas de solos cultivados, tais como concentração e tipo de íons na solução do solo, variações do pH do solo e da concentração crítica de flocculação das partículas, podem causar modificações na dispersão da fração argila, degradando a estrutura original do solo (RENGASAMY, 1983; BENITES; MENDONÇA, 1998). Rengasamy (1983) verificou menor dispersão

de argila em solos com maiores teores de cálcio e magnésio, enfatizando que cátions polivalentes formam pontes de cátions com partículas carregadas negativamente, aumentando a agregação do solo.

As características químicas do solo são afetadas por atributos como capacidade de troca catiônica, carga elétrica, espécie e concentração de cátions trocáveis, solubilidade dos sais e condutividade elétrica. Os solos das regiões tropicais úmidas, devido às condições climáticas, em geral, têm limitações relacionadas às características químicas, como baixa reserva de nutrientes e da capacidade de troca catiônica, pequena quantidade de material orgânico, acelerada oxidação, grande exigência de fosfato, e moderada a alta acidez (LAL,1999).

A capacidade de troca catiônica é de grande importância no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas (CHAVES et al., 2004). Segundo Novais e Mello (2007), a característica de adsorção catiônica é oriunda dos minerais de argila e matéria orgânica, que são partículas coloidais do solo que geram cargas elétricas negativas proporcionando a adsorção ou retenção dos íons positivamente carregados.

Há muito tempo se reconhece a importância da matéria orgânica do solo para a capacidade de troca catiônica dos solos, contribuindo com 20-90% da capacidade de troca catiônica das camadas superficiais de solos minerais e, praticamente, toda a capacidade de troca catiônica de solos orgânicos. Em solos tropicais, em estágio avançado de intemperismo, com a fração argila dominada por caulinita e oxihidróxidos de Fe e Al, e com cargas predominantemente variáveis, dependentes de pH, a contribuição da matéria orgânica do solo é maior, principalmente, quando os solos têm baixos teores de argila (SILVA; MENDONÇA, 2007).

A capacidade de troca catiônica do solo se relaciona com a “reserva” de nutrientes, e desta forma, quanto maior for a capacidade de troca catiônica do solo, maior a capacidade de o solo reter os cátions em formas prontamente disponíveis para as plantas. A capacidade de troca catiônica é importante considerando que os cátions que estão na solução do solo estão sujeitos a se lixiviarem no perfil do solo, em profundidade, ficando fora do alcance das raízes (NOVAIS; MELLO, 2007).

Doran (1997) enfatiza que a avaliação do pH, da capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes, matéria orgânica e carbono orgânico torna-se essencial para analisar aspectos químicos da qualidade do solo, uma vez que fornecem uma medida da habilidade do solo em suprir nutrientes e funcionar como tamponantes. No entanto, Araújo et al. (2004) afirmam que manutenção natural de quase a totalidade da biota terrestre ocorre em virtude das reações de troca de cátions na solução no solo, sendo de um bom indicador da sua atividade coloidal.

Mensurações que expressem a saturação por base do solo, soma das bases trocáveis expressa em porcentagem da capacidade de troca de cátions, bem como o potencial de outros nutrientes que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas como: nitrogênio, fósforo e enxofre disponíveis, fósforo total e teor de micronutrientes são importantes para avaliar a qualidade de solo entre diferentes sistemas de manejos (REGANOLD; PALMER, 1995).

De acordo com Silva (2003), o pH representa a acidez ativa do solo, obtida da concentração de  $H^+$  na solução do solo, expressa em valores de pH, sendo nos solos amazônicos, frequentemente, encontrado pH entre 4 e 6,5, caracterizando solos ácidos. O pH é afetado por fatores como: tipos de materiais de origem do solo, tipos de vegetação, processos de intemperização e decomposição da matéria orgânica. Sendo a acidez originária da dissociação da água e do gás carbônico,

perda de cátions trocáveis por meio de lixiviação, extração pelas culturas, e nitrificação (VIEIRA, 1988; GAMA, 2004).

Atualmente, considera-se a faixa de pH de 5,5 a 6,5, adequada para o desenvolvimento de diversas culturas cultivadas na Amazônia. Promove-se nesta faixa de pH, disponibilidade de macronutrientes, que é proporcional ao acréscimo de pH, e de micronutrientes, que é proporcional ao decréscimo de pH, contudo menos exigidos pelos vegetais, evitando assim a toxidez por micronutrientes (SILVA et al., 2006).

Os Latossolos e Argissolos, solos predominante na bacia Amazônica, corresponde aproximadamente 75% da sua área (JACOMINI; CAMARGO, 1996), sendo que o Estado do Amazonas, com 1,6 milhões de km<sup>2</sup>, apresenta em torno de 90% de Latossolos e Argissolos distróficos (VIEIRA; SANTOS, 1987). As atividades de exploração agrícola não têm feito distinção entre os principais grupos de solos. Conforme Moreira e Malavolta (2002), somente 0,62% dos solos amazonenses apresentam saturação por bases superior a 40% e 77% deles apresentam saturação por Al acima de 50%, o que os distingue dos solos das demais Regiões do País.

Os Latossolos na região Amazônica são profundos, extremamente intemperizados e em geral, de baixa fertilidade (BERNOUX et al., 2002), isso devido aos componentes de argila serem predominantemente caulinita, argila de baixa atividade, com quantidades variáveis de oxihidróxidos de ferro e alumínio, com capacidade de troca de cátions baixas e alumínio trocável relativamente alto (CERRI et al., 1999).

A matéria orgânica do solo apresenta potencial para ser utilizada como principal atributo na qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994). Tal importância advém da sua sensibilidade às modificações consequentes dos sistemas de

maneios empregados no processo produtivo, bem como da capacidade de ciclar nutrientes e influenciar nas características físicas, químicas e biológicas no sistema solo (CONCEIÇÃO et. al., 2005; CONCEIÇÃO, 2006).

Mielniczuk (2008) enfatiza que a importância da matéria orgânica na qualidade do solo ocorre devido à intensa relação com a maioria dos atributos do solo, destacando-se a estabilidade dos agregados e da estrutura, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes para as plantas, liberação de CO<sub>2</sub> e outros gases para atmosfera.

A matéria orgânica em solos de clima tropical possui alta capacidade de interagir com outros componentes, propiciando alterações nas características físicas, químicas e biológicas. Esta interação no compartimento solo é a responsável pela formação dos agregados do solo, constituindo mais importante reserva de matéria orgânica e, conseqüentemente, de carbono do solo. Sendo assim, este processo dinâmico é de grande importância para a manutenção da qualidade do solo (DORAN et al., 1996; MACHADO, 2005), principalmente porque a manutenção ou mesmo o aumento da matéria orgânica nesses solos é de fundamental importância na retenção e na diminuição da lixiviação dos nutrientes (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A relação C/N mostra o estado de decomposição da matéria orgânica decorrente da ação microbiana e grau de atividade de organismos no solo. Assim, relações de baixos valores, abaixo de 20, indicam avançado estágio de decomposição de matéria orgânica, e valores altos, acima de 30, indicam alta atividade microbiana, sendo que em condições normais, isto é, típica da matéria orgânica estável do solo, o valor dessa relação aproxima-se de 10 a 12 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; SILVA, 2003; CANTARELA, 2007). Gama (2004) afirma que

valores menores que 17 caracterizam predomínio de mineralização, e valores superiores a 33 apresentam predomínio de imobilização de N inorgânico do solo e, portanto, baixa atividade de microorganismos.

O aumento da matéria orgânica conduz a um aumento da atividade microbiana do solo, pois os microorganismos estão diretamente envolvidos nos ciclos dos nutrientes no solo. O processo de mineralização do N é resultante da degradação de formas orgânicas do elemento, decorrente da atividade desses microorganismos, desempenhando um importante papel no ciclo do nitrogênio (VICTORIA et al., 1992).

O ciclo do N no solo está estreitamente associado à matéria orgânica, sendo a biomassa microbiana importante fonte, pois constitui a fração ativa e potencialmente mineralizável da matéria orgânica do solo. A ciclagem do nitrogênio microbiano é mais rápida do que as de outras frações, contudo a biomassa microbiana atua como tampão, controlando assim a disponibilidade do nitrogênio por meio dos processos de mineralização e imobilização (BONDE et al., 1988; SMITH; PAUL, 1990; VARGAS; SCHOLLES, 1998; GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

Os valores da biomassa microbiana de carbono indicam o potencial de reserva de carbono no solo que participa no processo de humificação. Portanto, permite aferir o acúmulo ou perda de carbono em função do manejo, isto é, quanto maior a biomassa microbiana de carbono, maior será a reserva de carbono no solo, o que expressa menor potencial de decomposição da matéria orgânica. Nesse sentido, a biomassa microbiana de nitrogênio constitui uma parte significativa e potencialmente mineralizável desse elemento que estará disponível para as plantas (MARUMOTO et al., 1982; GALLARDO; SCHLESINGER, 1990).

No entanto, em solos com baixos teores de nitrogênio, o N contido na biomassa irá ser utilizado, preferencialmente, pelos microrganismos na decomposição da matéria orgânica, ao invés de ser absorvido pelas plantas (PAUL; CLARK, 1989). Portanto, Gama-Rodrigues et al. (1994) concluíram que os resultados de biomassa microbiana devem estar associados aos de carbono orgânico, ao nitrogênio total e à taxa de respiração dos solos, para que possam avaliar a dinâmica da matéria orgânica.

Os resultados de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo, quando associados aos resultados da atividade microbiana e atributos químicos, como carbono orgânico e nitrogênio total, permitem expressar a dinâmica do carbono e nitrogênio de maneira mais adequada que os valores absolutos (MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2004).

A matéria orgânica do solo compreende componentes vivos e não-vivos. Os componentes vivos são as raízes de plantas, a fauna e os microrganismos do solo, os componentes não-vivos são resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não-humificadas. As substâncias não-humificadas incluem carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucléicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos. Por sua vez, as substâncias humificadas, que constituem de 70 a 80% da matéria orgânica na maioria dos solos minerais, são compostas pelas frações de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas (THENG et al., 1989).

As substâncias húmicas exercem influência nas características químicas, físicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, no crescimento das plantas. São produtos das transformações químicas e biológicas dos resíduos vegetais e animais, assim como da atividade de microrganismo do solo, de elevada estabilidade, por

possuir estrutura química complexa e interações com minerais de argila e cátions metálicos, na formação dos agregados (THENG et al., 1989; ROTH et al., 1992; MICHEL et al., 1996).

A biomassa microbiana, definida como a parte viva da matéria orgânica do solo, excluindo raízes e animais maiores que  $5000 \mu\text{m}^3$ , corresponde em média, de 2 a 5% do C orgânico do solo (JENKINSON; LADD, 1981) e de 1 a 5% do N total do solo (SMITH; PAUL, 1990), constitui um agente de transformação de todo aporte anual de material orgânico do solo, no ciclo de nutriente e no fluxo de energia, sendo um fator mais sensível às alterações na qualidade do solo, causadas pelas mudanças de uso do solo (POWLSON et al., 1987; DE-POLLI; GUERRA, 2008; TRANNIN et al., 2007).

A manutenção da produtividade dos ecossistemas florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). Esta representa um importante componente ecológico e pode ser utilizada como índice de adequação de sustentabilidade de sistemas de produção e geralmente apresenta forte correlação com a presença de matéria orgânica e a atividade microbiana, pois é um indicador do estado e das mudanças da matéria orgânica total do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993; MERCANTE et al., 2004).

A atividade da microbiota do solo pode ser avaliada pela medição da biomassa microbiana, da atividade enzimática no solo e medidas da respiração basal (TÓTOLA; CHAER, 2002). Sendo a respiração dependente do estado fisiológico da célula microbiana e influenciada por diversos fatores do solo, como: a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a relação carbono nitrogênio e a presença de resíduos orgânicos, altas taxas podem

indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000).

NDAW (2003) determinou a biomassa e a atividade microbiana em floresta, plantio de cana e pastagem, verificando que o solo de floresta e de pastagem, quando sofreu menor intervenção do homem, apresentou maior acúmulo de carbono e nitrogênio microbiano, sugerindo que a biomassa e a atividade microbianas indicam a qualidade do solo.

Segundo Wardle (1994), a razão carbono microbiano e carbono orgânico total de um solo indicam a qualidade da matéria orgânica, assim como a eficiência de conversão do carbono do solo em carbono microbiano. Da mesma maneira, a relação entre N da biomassa microbiana e o nitrogênio total do solo indica a eficiência de conversão do nitrogênio do solo em nitrogênio microbiano (SPARLING, 1992).

A dinâmica da matéria orgânica e eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico total do solo podem ser monitoradas pela razão entre o carbono microbiano e o carbono orgânico total, chamada quociente microbiano (SPARLING, 1992). Sendo assim, quando maior o quociente, maior ciclagem de nutrientes e, portanto, perda de carbono do solo, enquanto que, quando menor o quociente, menor ciclagem de nutrientes e maior acúmulo de carbono. (JENKINSON; LADD, 1981; ANDERSON; DOMSCH, 1989). Portanto, Marchiori Júnior e Melo (2000) concluíram que os maiores valores da razão indicam a maior conversão de carbono orgânico total do solo em carbono da biomassa microbiana.

O solo é considerado um potencial reservatório temporário de CO<sub>2</sub>, apresentando cerca de 2 a 2,5 vezes maior quantidade desse elemento que nos vegetais e no ar, respectivamente (BOLONHEZI et al., 2004). Dessa forma,

dependendo do manejo, o solo pode se tornar um dreno ou uma fonte de carbono no ecossistema. Atualmente, quando comparados os resultados de preparos intensivos dos solos agrícolas com a condição mata nativa, tiveram seus conteúdos de carbono reduzidos de 30 a 50 % (AMADO et al., 2003).

A determinação da liberação de CO<sub>2</sub> do solo tem sido usada para avaliar a atividade geral da biomassa, destacando-se a influência do clima, as características físicas e químicas do solo (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). A atividade dos organismos é considerada um atributo positivo para a qualidade do solo, sendo a respiração um indicador sensível da decomposição do material orgânico, do giro metabólico do carbono orgânico do solo e de distúrbios do ecossistema (PAUL et al., 1999).

A respiração é o método mais utilizado para quantificar a atividade metabólica nos solos, podendo ser avaliada através da liberação de CO<sub>2</sub>, sendo dividida em dois tipos: respiração basal e respiração induzida pelo substrato (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A medição da respiração é considerada uma estimativa indireta da velocidade de decomposição da matéria orgânica ou de algum material adicionado ao solo (ALEF, 1995; SEVERINO et al., 2004).

Sendo desta forma, o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) é a taxa de respiração basal por unidade de biomassa microbiana, refere-se à quantidade de CO<sub>2</sub> incorporada por grama de biomassa em um determinado tempo, importante para avaliar o efeito das condições ambientais sobre a atividade microbiana do solo, identificando solos contendo biomassa mais eficiente na utilização de carbono e energia (ANDERSON; DOMSCH, 1993; CHAER; TÓTOLA, 2007).

A quantificação da atividade de algumas enzimas do solo como a celulase,  $\beta$ -glucosidase, desidrogenase e arilsulfatase, tem sido indicativos da qualidade do

solo, tendo em vista que as enzimas são partes integrais dos ciclos da matéria orgânica e de macronutrientes no solo (BANDICK; DICK, 1999). Sendo assim, as enzimas do solo são mediadoras diretas no catabolismo biológico do solo orgânico e dos componentes minerais (NIELSEN; WINDING, 2002).

A atividade de algumas enzimas acumuladas no solo, tais como a  $\beta$ -glucosidase, celulase, amilase e sulfatases têm demonstrado ser significativamente maior em solos preservados que em solos cultivados (MILLER; DICK, 1995; CALDEWELL et al., 1999; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; PINTO; NAHAS, 2002). A  $\beta$ -glucosidase é responsável pela hidrólise dos resíduos da celobiose formando o açúcar simples  $\beta$ -D-glucosidase (TABATABAI, 1994) e como a celobiose é dissacarídeo de rápida decomposição no solo, ocorre uma relação positiva entre os teores elevados de  $\beta$ -glucosidase e os teores de C prontamente mineralizável (MATSUOKA et al., 2003; CHAER; TÓTOLA, 2007).

As enzimas  $\beta$ -glicosidases e  $\beta$ -galactosidases são amplamente distribuídas na natureza, desempenhando um papel importante na degradação de hidratos de carbono nos solos. Os produtos de lise destas enzimas acredita-se ser importantes fontes de energia para os microrganismos do solo (EIVAZI; TABATABAI, 1988). A  $\beta$ -galactosidase é uma das principais enzimas envolvidas no processo degradativo da parede celular e da lamela média (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

As sulfatases são enzimas envolvidas na mineralização do enxofre (S) orgânico no solo, sendo que a arilsulfatase é uma das principais enzimas envolvidas na mineralização do enxofre na forma de ésteres sulfatos e sendo uma enzima predominantemente intracelular (KERTESZ; MIRLEAU, 2004), isto é, os compostos orgânicos sulfatados são adsorvidos por transportadores específicos para serem hidrolisados internamente. A atividade da arilsulfatase correlaciona-se com as

populações de microrganismos heterótrofos, e é maior em solo sob floresta nativa em comparação a solos de pastagem e cultivos (PINTO; NAHAS, 2002).

Então, a qualidade do solo é o resultado de contínuos processos de degradação e conservação e representa a contínua capacidade do solo de funcionar como um ecossistema vital. Um balanço único de componentes químicos, físicos e biológicos contribui para a manutenção da qualidade do solo (LARSON; PIERCE, 1994; NILSEN; WINDING, 2002).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Descrição dos locais

As áreas onde foram realizados os estudos localizam-se em Latossolo Amarelo distrófico típico (MOREIRA; MALAVOLTA, 2002; EMBRAPA, 2006), localizadas nas proximidades das coordenadas geográficas 3°8'25" LS e 59°52' LW, no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental e no Centro de Exposição SEPROR, município de Manaus, Estado do Amazonas. O clima dominante é o tropical úmido, tipo Afi pela classificação de Köppen, apresentando chuvas relativamente abundantes durante todo o ano (média de 2250 mm), sendo que a quantidade de chuva no mês de menor precipitação é sempre superior a 60 mm. A temperatura média encontrada na região é de aproximadamente 26 °C (VIEIRA; SANTOS, 1987).

Foi estudada uma cronossequência formada por uma floresta primária de referência e em seis áreas distintas de cultivo de seringueira plantadas há cinco anos (copa – híbridos de *Hevea pauciflora* x *H. guianensis* ou com *H. Rigidifolia*, Figura 1), dezoito anos [(copa – *H. Pauciflora* (CNS G 124), dezenove anos [IAN 6543 (*H. pauciflora* x *H. brasiliensis*)], vinte anos (copa – *H. pauciflora*) e quarenta e quatro anos de idade [(copa – *Hevea brasiliensis* (Fx25)].

As áreas de seringais de 5, 18, 19 e 20 anos e a floresta primária de referência situadas no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental e o seringal de 44 anos situado no Centro de Exposição SEPROR.



**FIGURA 1** - Aspecto visual do seringal com cinco anos de idade no período de coleta dos dados, campos experimental Embrapa CPAA, Manaus, AM. (foto: Rean A. Zaninetti).

#### **4.2. Coleta das amostras do solo**

As coletas de solo foram realizadas nas seis diferentes áreas estudadas, sendo retiradas cinco amostras de cada área, a primeira no centro da área e as demais a cada 25 metros, orientadas na direção dos pontos cardeais, de acordo com a metodologia descrita por Moraes et al. (1996). As amostras foram coletadas com um trado em três profundidades (0-10 cm; 11-20 cm e 21-40 cm), sendo utilizadas as cinco amostras para aumentar o número de repetições. Depois de coletadas foram duplicadas e acondicionadas em sacos plásticos e enviadas para o Laboratório de Análise de Solos e de Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental (CPAA), onde foram acondicionadas em geladeira numa temperatura média de 8 °C, para a realização das análises microbiológicas. Após a realização das análises

microbiológicas, o solo foi seco ao ar e peneirado para realização das análises físicas e químicas.

#### 4.3. Acúmulo de fitomassa de carbono

Para estimar a massa seca da parte aérea de árvores do gênero *Hevea*, foi retirada a medida da circunferência há 1,3 m do ponto de enxerto (cm), referente ao diâmetro médio na altura do peito (DMP), sendo utilizada a fórmula proposta por Shorrocks (1965), com base em medição direta, que consiste:

$$\text{Log } A = 2,7826 \log B - 2,5843 \text{ ou } A = 0,002604 B^{2,7826}, \text{ sendo:}$$

A = Massa de matéria seca (kg); e

B = Circunferência média do caule de 10 plantas de *Hevea* há 1,3 m do ponto de enxerto (cm).

Tendo em vista, a amplitude da variação da massa seca e a possibilidade de sua estimativa baseada na circunferência do tronco, determinou-se a quantidade de carbono (C) contido na fitomassa através de um factor de conversão de 0,45, como proposto por Botkin et al., (1993), para estimar o potencial de armazenamento de carbônico orgânico existente na biomassa seca total.

## 4.4. Caracterização física e química do Solo

### 4.4.1. Análises físicas

Com a finalidade de caracterização foram determinadas as seguintes análises físicas: densidade de partículas, segundo os métodos propostos pela EMBRAPA (1997), obtida pelo método do balão volumétrico. Utilizando-se 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE), transferindo-se amostra para um balão volumétrico de 50 mL aferido. Foram adicionados 25 mL de álcool etílico ao balão com TFSE. O balão foi agitado por 1 minuto para facilitar a penetração do álcool nos capilares do solo. O balão permaneceu em repouso por 15 minutos, e em seguida foi completando com álcool etílico para leitura do nível de álcool na bureta. O volume de TFSE contido no balão volumétrico foi determinado subtraindo o nível de álcool da bureta do volume do balão (50 mL). A densidade de partículas ( $D_p$ ), em  $\text{kg dm}^{-3}$ , foi calculada pela razão entre massa da TFSE (kg) e o volume de TFSE contido no balão volumétrico; a textura pelo método da pipeta de Robinson (GEE; BAUDER, 1986; EMBRAPA, 1997), utilizando-se 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA), 100 mL de água destilada e 10 mL de NaOH  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , com agitação mecânica rápida (12.000 rpm) por 15 minutos.

As frações de areia grossa e areia fina foram separadas, com o uso de peneiras de malha 0,210 e 0,053 mm respectivamente. As frações argila e silte (<0,053 mm), foram separadas por sedimentação, sendo que as frações de silte e argila foram medidas após agitação mecânica em solução de pirofosfato de sódio. A fração de areia foi determinada pela diferença entre o total analisado e as frações de argila e silte.

Os dados da análise física do solo sob uma floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, estão apresentados na Tabela 1.

**TABELA 1** - Caracterização física (areia, silte, argila e densidade de partícula-DP) do Latossolo Amarelo distrófico sob uma floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, Manaus-AM, 2012

Cobertura vegetal	Areia	Silte	Argila	DP
	----- kg kg <sup>-1</sup> -----			Mg m <sup>-3</sup>
5 anos	12,60	22,50	65,30	2,50
18 anos	18,90	22,30	58,80	2,50
Seringais 19 anos	12,10	14,00	73,90	2,49
20 anos	18,35	18,45	63,20	2,46
44 anos	21,70	16,65	61,65	2,52
Floresta Primária	15,55	17,10	67,35	2,48

#### 4.4.2. Análises químicas

Nas análises químicas foram determinadas as seguintes variáveis de acordo com EMBRAPA (1997): o pH em água e KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, determinados em potenciômetro, com eletrodo de vidro, empregando-se a relação terra-solução 1:2,5 (m:v); o cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) foram extraídos pela solução de KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, sendo o Ca trocável e o Mg trocável quantificados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al trocável por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; o potássio disponível (K<sup>+</sup>), o sódio disponível (Na<sup>+</sup>) e o fósforo disponível (P), cobre disponível (Cu<sup>2+</sup>), ferro disponível (Fe<sup>2+</sup>), manganês disponível (Mn<sup>2+</sup>) e zinco disponível (Zn<sup>2+</sup>) foram extraídos a partir da mesma solução extratora H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> (extrator Mehlich-1), sendo o Na<sup>+</sup> e o K<sup>+</sup> foram quantificados por fotometria de chama e o P por espectrofotometria. Os micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) por espectrofotometria de absorção atômica.

O carbono orgânico (C) total foi determinado pelo processo de oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio 1,0 mol L<sup>-1</sup> (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) sem aquecimento e quantificado por titulação com sulfato ferroso 1,0 mol L<sup>-1</sup> (FeSO<sub>4</sub>·x7H<sub>2</sub>O)

(WALKLEY; BLACK, 1934). O nitrogênio (N) total foi determinado pelo método de Kjeldahl, de acordo com Bremner (1965) e EMBRAPA (1997). Para a determinação da Acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) foi obtido por potenciometria em solução tampão SMP (MOREIRA et al., 2004);

A partir dos dados obtidos foram calculados, a capacidade de troca de cátions - CTC potencial (T) e saturação por bases (V%).

## **4.5. Análises da matéria orgânica**

### **4.5.1. Biomassa microbiana**

Na estimativa da biomassa microbiana de C, N, (CBM e NBM, respectivamente) foi utilizado o método de irradiação e extração (IR), descritos por Ferreira et al. (1999). A biomassa microbiana do carbono foi determinada indiretamente (ANDERSON; DOMSCH, 1978), através da respiração microbiana utilizando o Infra Red Gas Analyzer (IRGA). A respiração induzida foi transformada em biomassa microbiana através da fórmula: biomassa em  $\mu g C g^{-1} solo = (\text{respiração em } \mu L CO_2 \text{ min}^{-1} g^{-1} \times 40,04) + 0,37$ .

O fluxo de  $CO_2$  ( $mL \text{ min}^{-1}$ ) foi determinado nas amostras induzidas com 0,24 gramas de glicose + 0,50 gramas de talco inerte (ANDERSON; DOMSCH, 1978); a respiração basal ( $\mu L h^{-1} g^{-1} C-CO_2$  no solo) foi determinada nas mesmas amostras antes da indução, refletindo a atividade microbiana.

O quociente microbiano ( $qCO_2$ ), que expressa a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico do solo, foi calculado pela razão entre carbono microbiano (CBM) e carbono orgânico total (C), de acordo com Sparling

(1992). O quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) foi calculado de acordo com Anderson e Domsch (1993), pela razão entre a respiração basal e o carbono microbiano.

#### **4.5.2. Fracionamento da matéria orgânica**

Para extração e fracionamento químico da matéria orgânica [C solúvel em água - CSA, matérias húmicas (ácidos fúlvicos - CAF, ácidos húmicos - CAH) e humina - CHU], foi utilizado o método adaptado de SCHNITZER (1982), que consiste nos seguintes procedimentos: 10,0 g de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar) colocados em tubo de centrífuga com 50,0 mL de água desionizada e agitados por 30 minutos e centrifugados por 20 minutos, a 13.232g. Posteriormente, transferiu-se o sobrenadante para um frasco (C solúvel em água). O material retido no tubo foi ressuscitado com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> em agitador horizontal por uma hora e centrifugado por 12 minutos a 10.131g. Em sequência, 100 mL do sobrenadante (matérias húmicas) foram novamente colocados no tubo de centrífuga e ajustou-se o pH com HCl 6,0 mol L<sup>-1</sup> até 2,0, deixando a solução em repouso por 30 minutos e, posteriormente centrifugando por 10 minutos a 5.168g. O sobrenadante (ácidos fúlvicos) foi transferido em frascos e o precipitado (ácidos húmicos) foi ressuscitado com 25,0 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. A fração humina foi calculada pela diferença entre o C orgânico (Walkley-Black) e C encontrado na fração matérias húmicas.

#### **4.6. Atividade enzimática do solo**

Para as avaliações da atividade enzimática foram retiradas amostras de solo, na profundidade de 0 a 10 cm. A atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidase,  $\beta$ -galactosidase e arilsulfatase foram estimadas de acordo com Tabatabai (1994), por meio da determinação colorimétrica do  $p$ -nitrofenol (coloração amarela), liberado pelas enzimas, quando o solo é incubado com um substrato específico ( $p$ -nitrofenil-beta-D-glicopironosídeo).

#### **4.7. Análise estatística dos dados**

As análises e as interpretações dos dados de matéria orgânica foram expressos com base no solo seco e dos atributos químicos do solo em TFSA. Por se tratar de um estudo de comparação de sistemas (tratamentos), as análises descritivas dos atributos químicos e biológicos do solo foram efetuadas, conforme Ribeiro Júnior (1995). Para verificar a existência de distribuição normal dos dados, foi utilizado o teste não paramétrico de Shapiro Wilks a 5% de significância.

Na comparação dos tratamentos foi realizada à análise da variância para detectar efeito de local e dentro de local de amostragem, utilizando um delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos (cronossequencias) e cinco repetições (amostras de solo), sendo aplicando o teste de Scott Knott no nível de 5% de probabilidade para comparação de médias, quando o teste F foi significativo nos níveis de probabilidade de 5 e 1% (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002), com utilização do programa estatístico Sisvar (Versão 5.3).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Estatística descritiva

Ao analisar os dados de estatística descritiva de atributos químicos e biológicos de solos sob floresta primária e seis diferentes cronossequências de seringais, apresentados na Tabela 2, nota-se que os valores de média e mediana, de todas as variáveis, nas três profundidades, estão próximos uns dos outros, o que demonstra a ausência de inclinação (assimetria) forte e que os dados tendem para ser normalmente distribuído, simétricos. Contudo pode-se destacar que o carbono (C) e nitrogênio (N) da biomassa microbiana obtidos por irradiação e extração e a relação entre o N da biomassa microbiana (IR) e o N total, na camada de 0-10 cm, no seringal de 44 anos, apresentaram valores de média e mediana um pouco mais distantes, enfatizado pela maior amplitude entre os valores de mínimo e máximo, respectivamente 648,92 e 338,15; 281,23 e 88,45; 158,89 e 54,60.

O resultado supracitado é uma boa indicação de que a tendência central das medidas não são dominadas por valores atípicos na distribuição (CAMBARDELLA et al. 1994). Em contraste, os valores de inclinação e curtose demonstram distribuições assimétricas (Tabela 2), principalmente devido à alta sensibilidade do coeficiente de inclinação dos dados, o que significa que um único valor pode influenciar significativamente o coeficiente, sendo que quando negativo a distribuição está assimétrica à esquerda (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). No caso dos valores de coeficiente de curtose, as curvas de frequências foram leptocúrtica, quando as variáveis apresentaram valores de curtose maiores que 3. Em contraste, as variáveis

com  $C < 3$ , foram platicúrtica, com um elevado grau de achatamento, partindo substancialmente a partir da distribuição normal (Tabela 2).

Adotando os critérios de classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002) para comparar a dispersão dos dados através dos coeficientes de variação, verificaram-se na camada de 0-10 cm, os menores valores foram encontrados nas variáveis C orgânico, N total e CTC, enquanto os maiores coeficientes foram observados nos NBM\_IR e relação CBM\_IR/NBM\_IR (Tabela 2). Na camada de 11-20 cm, os menores valores foram do C orgânico e do fluxo de CO<sub>2</sub>, e os maiores da relação CBM\_IR/NBM\_IR e respiração basal (RB), já na camada de 21-40 cm, os menores foram o N total e a relação C/N, sendo os maiores coeficientes encontrados no NBM\_IR e na relação NBM\_IR/N. Independente da idade do seringal e da profundidade, na sua maioria os coeficientes de variação verificados situaram-se dentro das classes alta (20% a 30%) e muito alta (>30%).

Os resultados do teste de normalidade de Shapiro Wilks ( $p \leq 0,05$ ) indicaram distribuição normal para os parâmetros N, CTC, CBM\_IRGA, RB, na camada de 0-10 cm; C, CTC, FCO<sub>2</sub> e nas relações C/N, NBM\_IR, CBM\_IR/NBM\_IR, CBM\_IR/C, NBM\_IR/N, em 11-20 cm; C, CTC, em 21-40 cm.

O desmatamento alterou significativamente o conteúdo de C no solo, principalmente, na profundidade de 0-10 cm, sendo que a relação C/N foi diretamente proporcional ao estoque de C no solo. Os valores da relação C/N média do solo (Tabela 2) encontrados, em todas as coberturas vegetais, na três profundidades, foram menores que 17, apresentando mineralização ou liberação do N inorgânico do solo, devido a alta atividade de microrganismos e, provavelmente, a fatores como grande quantidade de matéria orgânica, altos teores de N presente nos

solo, umidade, maior grau de humificação e estabilidade da matéria orgânica (GAMA, 2004).

Valores semelhantes de relação C/N foram encontrados por Ferreira et al. (1997), numa área de exploração seletiva no Município de Manaus (AM), na camada de 0-10 cm do solo, cujos valores variaram de 12,3 a 14,7. Telles et al. (2003) e Neu (2005) encontraram valores, em Latossolo Amarelo, entre 11,7 e 14,6, na superfície do solo e Moreira e Costa (2004), em floresta primária sobre Argissolo distrófico no Município de Coari (AM) encontraram valor médio de 10,91.

Os maiores valores de quociente microbiano, razão entre o conteúdo de C da biomassa microbiana (CMB\_IR) com o C orgânico, foi encontrado no seringal de 5 ano, na profundidade de 0-10 cm (Tabela 2), o mesmo aconteceu com a razão entre N da biomassa microbiana e o nitrogênio total do solo, indicando uma matéria orgânica muito ativa e sujeita a transformações (HART, et al., 1994; SAMPAIO et al., 2008).

Pode-se notar que na tabela 2 os valores de fluxo de CO<sub>2</sub> e a relação C/N da biomassa microbiana (CMB\_IR/ NMB\_IR) foram muito próximos ao encontrados por Moreira e Malavolta (2004), em duas sucessões de floresta primária e cupuaçuza e floresta primária-pastagem-cupuaçuza, contudo, para valores de quociente microbiano os mesmos autores obtiveram valores muito abaixo dos encontrados no presente estudo.

Os altos valores do desvio padrão, como é o caso da biomassa microbiana (CMB\_IRGA, CMB\_IR, NMB\_IR), nas três profundidades e do fluxo de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>), em 11-20 cm, indicando grande variabilidade desses indicadores no solo das diferentes áreas estudadas, e podendo ainda, significar ausência de normalidade dessas variáveis.

**TABELA 2** - Estatística descritiva dos atributos químicos e biológicos em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 11-20 cm e 21-40 cm, Manaus-AM, 2012.

Variável		C	N	C/N	CTC	CBM_ IRGA	CBM_ IR	NBM_ IR	CBM_IR/ NBM_IR	CBM_IR/ C (%)	NBM_IR/ N (%)	FCO <sub>2</sub>	RB	
		--- (g kg <sup>-1</sup> ) ---			(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	----- (µg g <sup>-1</sup> ) -----						mL min <sup>-1</sup>	µL h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	
0-10 cm														
Média	5 anos	13,91	1,73	5,25	6,69	136,76	557,69	140,31	4,41	40,09	51,79	416,05	2,00	
	18 anos	26,84	2,58	10,50	5,06	179,09	577,83	133,89	4,42	21,53	52,31	440,73	1,85	
	Seringais	19 anos	23,52	2,26	10,52	9,20	169,08	401,60	91,32	4,15	17,07	40,83	431,46	1,52
		20 anos	20,65	3,47	6,09	9,56	178,22	267,75	47,30	8,03	12,97	13,53	434,02	0,65
	Floresta	44 anos	19,46	1,61	12,11	8,05	189,81	470,92	146,45	3,62	24,20	89,66	478,50	1,33
	Primária	41,33	3,19	13,15	10,37	265,25	615,27	98,58	6,88	14,89	31,22	420,44	1,39	
Mediana	5 anos	13,46	2,69	4,85	6,47	139,18	580,40	138,20	4,49	43,12	48,52	415,69	2,02	
	18 anos	26,12	2,67	10,17	5,00	181,99	586,71	135,70	4,36	22,46	50,18	432,77	1,82	
	Seringais	19 anos	22,43	2,25	9,67	9,09	162,33	409,88	95,63	3,88	18,27	42,50	431,20	1,66
		20 anos	20,85	3,57	5,33	10,14	163,82	261,75	42,07	7,34	12,55	12,65	456,37	0,63
	Floresta	44 anos	18,97	1,62	11,93	8,03	170,80	403,23	117,94	3,03	21,26	75,86	468,37	1,23
	Primária	42,57	3,27	12,72	10,59	246,55	591,97	88,45	6,69	13,91	34,35	435,45	1,40	
Máximo	5 anos	17,29	3,05	7,52	7,92	150,81	607,35	184,84	5,26	45,13	66,97	481,09	2,12	
	18 anos	29,77	2,87	13,23	5,92	192,96	591,79	144,02	5,23	22,78	60,31	484,50	2,25	
	Seringais	19 anos	26,86	2,53	13,70	10,49	194,41	469,38	95,63	5,69	17,48	48,79	450,82	1,88
		20 anos	24,93	3,91	9,07	11,22	277,12	302,39	74,61	15,06	14,01	19,08	470,28	0,83
	Floresta	44 anos	21,72	1,77	12,90	9,25	241,01	648,92	281,23	5,50	29,88	158,89	515,71	1,72
	Primária	46,56	3,66	16,22	11,87	314,12	737,19	137,21	11,54	15,83	37,49	480,39	1,72	
Mínimo	5 anos	12,48	2,30	4,22	6,08	113,96	434,52	102,44	3,11	34,82	44,54	351,19	1,80	
	18 anos	24,62	2,25	9,10	4,52	163,88	560,78	117,18	3,89	19,88	43,40	404,89	1,50	
	Seringais	19 anos	21,76	1,96	8,86	8,02	155,58	336,18	74,09	2,75	15,45	29,28	413,55	0,94
		20 anos	17,06	2,75	5,02	7,94	93,51	238,98	33,12	3,51	12,13	8,85	353,03	0,38
	Floresta	44 anos	17,65	1,47	11,68	6,56	161,76	338,15	88,45	2,01	19,16	54,60	440,62	0,83
	Primária	35,81	2,41	11,73	8,24	230,52	565,25	63,88	4,12	15,78	17,60	305,24	1,08	

C: carbono orgânico; N: nitrogênio total; CTC: capacidade de troca catiônica; CBM\_IRGA: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método IRGA; CBM\_IR: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); NBM\_IR: nitrogênio da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); RB: respiração basal; FCO<sub>2</sub>: fluxo de CO<sub>2</sub>.

... continuação Tabela 3.

Variável		C	N	C/N	CTC	CBM_ IRGA	CBM_ IR	NBM_ IR	CBM_IR/ NBM_IR	CBM_IR/ C	NBM_IR/ N	FCO <sub>2</sub>	RB	
		--- (g kg <sup>-1</sup> ) ---			(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	----- (µg g <sup>-1</sup> ) -----				(%)	(%)	mL min <sup>-1</sup>	µL h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	
0-10 cm														
Desvio padrão	5 anos	1,94	0,12	1,32	0,71	16,01	69,85	30,62	0,82	9,08	9,38	0,12	2,60	
	18 anos	2,31	0,25	1,67	0,52	14,27	14,65	11,36	0,56	1,54	7,37	0,27	1,69	
	Seringais	19 anos	2,21	0,20	1,94	0,99	16,76	50,74	9,63	1,16	3,05	7,11	0,37	2,38
		20 anos	2,94	0,45	1,68	1,42	78,36	28,63	16,98	4,34	2,59	3,86	0,19	0,90
	Floresta	44 anos	1,52	0,12	0,50	1,06	33,79	130,34	77,04	1,38	5,53	40,59	0,38	2,22
	Primária	4,07	0,52	1,79	1,34	35,01	69,09	29,72	2,89	2,07	8,20	0,25	0,64	
Assimetria	5 anos	1,97	-0,46	1,87	1,88	-0,74	-2,07	0,48	-1,13	-2,06	1,38	-1,45	-0,16	
	18 anos	0,48	-0,41	1,39	1,33	-0,25	-0,53	-0,78	0,62	0,12	0,10	0,38	-1,19	
	Seringais	19 anos	1,07	-0,44	1,47	0,21	1,03	0,04	-2,24	0,29	0,35	-1,18	-1,10	-0,41
		20 anos	0,47	-1,29	2,12	-0,23	0,31	0,32	1,32	1,24	2,01	0,50	-0,44	1,28
	Floresta	44 anos	0,66	0,16	1,27	-0,44	1,08	0,65	1,99	0,45	0,80	1,74	-0,09	1,21
	Primária	-0,20	-0,86	1,78	-1,05	0,73	2,08	0,34	1,26	-0,39	-1,57	0,13	-0,36	
Curtose	5 anos	4,11	4,02	3,72	4,00	-1,26	4,48	0,59	1,49	4,38	1,48	3,14	-0,25	
	18 anos	-2,49	-1,13	1,90	2,60	-3,04	-3,08	-0,52	-0,93	-2,15	-2,31	1,21	0,35	
	Seringais	19 anos	-0,38	1,62	1,91	-1,38	-0,31	-0,36	5,00	-1,11	-0,68	2,64	0,54	-2,35
		20 anos	0,58	1,88	4,57	-2,42	-2,21	-2,67	1,37	2,16	4,22	0,16	-0,94	1,61
	Floresta	44 anos	0,66	-1,74	1,08	-0,56	-0,37	-1,76	4,19	-1,06	0,61	3,35	-1,84	1,68
	Primária	-0,19	-0,14	3,41	1,93	-1,54	4,52	-1,62	1,83	-1,03	2,27	-0,86	-1,38	
CV(%)	5 anos	13,93	6,92	25,07	10,60	11,71	12,52	21,82	18,59	22,08	18,10	5,96	18,03	
	18 anos	8,59	9,51	15,93	10,24	7,97	2,54	8,49	12,77	7,11	14,09	14,74	16,26	
	Seringais	19 anos	9,38	9,05	18,45	10,77	9,91	12,63	10,55	28,03	17,69	17,42	24,65	26,40
		20 anos	14,22	12,87	27,59	14,89	43,97	10,69	35,89	54,05	19,62	28,53	28,98	23,19
	Floresta	44 anos	7,82	7,76	4,11	13,16	17,80	27,68	52,60	38,17	23,00	45,28	28,77	31,27
	Primária	9,84	16,28	13,61	12,95	13,20	11,23	30,15	41,96	13,81	26,25	18,06	12,20	
Shapiro-Wilks		0,94*	0,97 <sup>ns</sup>	0,92*	0,97 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,93*	0,88*	0,79*	0,78*	0,82*	0,93*	0,95 <sup>ns</sup>	

C: carbono orgânico; N: nitrogênio total; CTC: capacidade de troca catiônica; CBM\_IRGA: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método IRGA; CBM\_IR: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); NBM\_IR: nitrogênio da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); RB: respiração basal; FCO<sub>2</sub>: fluxo de CO<sub>2</sub>. <sup>ns</sup>Não-significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Shapiro-Wilks.

... continuação Tabela 3.

Variável		C	N	C/N	CTC	CBM_ IRGA	CBM_ IR	NBM_ IR	CBM_IR/ NBM_IR	CBM_IR/ C (%)	NBM_IR/ N (%)	FCO <sub>2</sub>	RB	
		--- (g kg <sup>-1</sup> ) ---			(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	----- (μg g <sup>-1</sup> ) -----						mL min <sup>-1</sup>	μL h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	
11-20 cm														
Média	5 anos	13,13	1,73	7,64	7,11	84,53	291,97	65,76	5,01	22,24	38,30	438,02	3,47	
	18 anos	13,64	1,52	9,10	5,41	102,43	353,96	72,88	5,08	25,95	49,39	454,17	3,31	
	Seringais	19 anos	22,22	1,81	12,90	8,94	101,60	288,00	100,23	2,88	12,96	57,64	460,78	1,65
		20 anos	10,29	2,38	4,36	9,44	96,31	228,25	38,57	6,49	22,18	16,11	413,51	0,89
		44 anos	15,44	1,56	10,43	8,00	113,72	160,95	58,74	2,96	10,42	40,15	468,95	1,32
Floresta	Primária	22,22	2,13	10,57	7,98	173,91	387,21	79,98	4,94	17,43	38,57	470,72	0,78	
Mediana	5 anos	13,33	1,70	7,98	7,00	83,45	294,46	64,25	4,77	22,09	36,91	435,80	3,52	
	18 anos	13,24	1,52	8,66	5,51	98,09	353,96	72,20	4,81	26,73	50,49	460,02	3,43	
	Seringais	19 anos	21,54	1,61	13,78	9,20	112,12	293,17	105,08	2,64	13,61	54,21	444,89	2,02
		20 anos	10,27	2,43	4,12	9,97	80,41	231,30	34,70	5,99	22,52	13,79	412,33	0,85
		44 anos	15,50	1,45	11,62	8,14	112,85	130,93	58,97	2,22	9,45	44,34	473,23	1,28
Floresta	Primária	22,02	1,98	11,02	9,12	170,03	384,10	86,94	4,60	17,44	38,47	457,86	0,80	
Máximo	5 anos	14,25	1,94	8,43	8,13	100,42	312,17	79,76	7,34	22,73	48,93	482,27	3,71	
	18 anos	15,20	1,79	10,85	6,06	122,79	365,43	87,70	7,18	26,99	67,33	489,83	4,10	
	Seringais	19 anos	25,05	2,70	14,91	9,33	123,33	327,11	124,36	3,97	13,06	77,24	545,08	2,51
		20 anos	11,67	2,58	5,58	10,80	152,26	284,65	57,69	10,91	24,39	23,74	445,90	1,46
		44 anos	16,24	2,26	12,13	8,50	121,17	281,02	84,67	5,27	17,30	52,92	529,56	1,60
Floresta	Primária	25,43	2,81	11,25	10,78	222,55	400,02	86,94	6,39	20,20	50,55	555,27	0,86	
Mínimo	5 anos	11,56	1,63	5,96	6,24	68,19	262,72	57,08	3,52	21,91	29,42	380,42	3,06	
	18 anos	13,01	1,28	7,40	4,45	83,90	341,97	47,63	4,04	24,04	26,61	407,25	2,29	
	Seringais	19 anos	20,94	1,52	7,98	8,05	73,77	229,90	82,40	1,64	10,98	38,92	405,28	0,31
		20 anos	9,34	2,09	3,84	7,98	74,15	172,63	26,09	4,02	18,48	11,25	383,59	0,59
		44 anos	14,23	1,26	6,30	7,08	109,43	130,93	36,29	1,55	9,20	16,06	409,23	1,08
Floresta	Primária	18,96	1,72	8,61	4,47	141,25	382,98	60,10	4,41	15,73	28,11	423,75	0,67	

C: carbono orgânico; N: nitrogênio total; CTC: capacidade de troca catiônica CBM\_IRGA: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método IRGA; CBM\_IR: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); NBM\_IR: nitrogênio da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); RB: respiração basal; FCO<sub>2</sub>: fluxo de CO<sub>2</sub>.

... continuação Tabela 3.

Variável		C	N	C/N	CTC	CBM_ IRGA	CBM_ IR	NBM_ IR	CBM_IR/ NBM_IR	CBM_IR/ C	NBM_IR/ N	FCO <sub>2</sub>	RB	
		--- (g kg <sup>-1</sup> ) ---			(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	----- (µg g <sup>-1</sup> ) -----				(%)	(%)	mL min <sup>-1</sup>	µL h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	
11-20 cm														
Desvio padrão	5 anos	1,02	0,12	1,00	0,83	12,15	20,21	8,69	1,48	2,73	7,06	38,37	0,27	
	18 anos	0,89	0,20	1,39	0,64	14,92	9,51	16,12	1,26	1,39	15,26	35,32	0,69	
	Seringais	19 anos	1,63	0,50	2,79	0,52	23,65	37,66	17,93	0,99	2,44	14,09	56,50	0,89
		20 anos	0,94	0,19	0,70	1,30	32,35	39,87	13,04	2,67	5,52	4,98	27,87	0,34
	Floresta	44 anos	0,76	0,41	2,44	0,55	4,45	67,12	17,39	1,50	4,45	14,06	43,72	0,22
	Primária	2,63	0,43	1,11	2,69	33,35	7,19	11,63	0,83	2,08	9,04	50,76	0,08	
Assimetria	5 anos	-0,95	1,89	-1,61	0,26	-0,03	-0,74	1,27	1,13	1,79	0,59	-0,68	-1,14	
	18 anos	1,96	0,27	0,19	-0,80	0,30	-0,07	-1,04	1,54	-0,32	-0,65	-0,43	-0,70	
	Seringais	19 anos	1,92	2,14	-2,07	-1,77	-0,50	-0,95	0,23	0,00	-1,18	0,16	0,88	-0,95
		20 anos	0,65	-0,99	2,06	-0,38	1,91	0,05	0,83	1,46	-0,13	1,05	0,10	1,58
	Floresta	44 anos	-1,11	1,76	-1,74	-1,59	1,53	2,24	0,47	1,10	2,18	-1,75	0,03	0,33
	Primária	0,02	1,21	-2,14	-0,53	0,71	2,18	-1,81	1,98	-0,09	0,24	1,52	-0,49	
Curtose	5 anos	0,85	4,02	2,56	-2,43	-0,09	-0,78	1,77	1,11	3,03	1,55	0,74	0,33	
	18 anos	3,92	-0,39	-1,55	-0,15	-0,50	-1,63	1,00	2,50	0,03	0,71	-1,89	0,42	
	Seringais	19 anos	3,94	4,64	4,46	3,06	-3,05	0,79	-1,42	-2,00	1,84	0,63	-0,26	-0,29
		20 anos	-0,44	0,86	4,46	-2,92	3,65	1,74	-0,68	2,43	0,90	0,25	-2,66	2,81
	Floresta	44 anos	1,57	2,97	2,88	2,89	2,95	5,00	1,67	0,34	1,01	3,66	1,00	-2,00
	Primária	-1,68	1,23	4,67	-2,15	-0,55	4,82	3,14	4,01	-1,81	-1,38	2,66	-2,18	
CV(%)	5 anos	7,80	6,92	13,14	11,62	14,37	6,92	13,21	29,53	12,20	18,45	8,76	7,66	
	18 anos	6,56	12,87	15,30	11,86	14,56	2,69	22,12	24,87	5,32	30,90	7,78	20,70	
	Seringais	19 anos	7,33	27,92	21,66	5,87	23,28	13,07	17,89	34,29	18,66	24,44	12,26	54,13
		20 anos	9,17	7,92	15,96	13,78	33,58	17,47	33,80	41,24	24,49	30,91	6,74	38,52
	Floresta	44 anos	4,93	26,52	23,36	6,89	3,91	41,70	29,60	50,48	42,51	35,02	9,32	16,52
	Primária	11,84	20,00	10,48	33,69	19,18	1,86	14,55	16,86	11,81	23,45	10,78	10,51	
Shapiro-Wilks		0,94 <sup>ns</sup>	0,93*	0,95 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,88*	0,93*	0,98 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,86*	

<sup>(1)</sup>C: carbono orgânico; N: nitrogênio total; CTC: capacidade de troca catiônica; CBM\_IRGA: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método IRGA; CBM\_IR: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); NBM\_IR: nitrogênio da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); RB: respiração basal; FCO<sub>2</sub>: fluxo de CO<sub>2</sub>. <sup>ns</sup>Não-significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Shapiro-Wilks.

... continuação Tabela 3.

Variável		C	N	C/N	CTC	CBM_ IRGA	CBM_ IR	NBM_ IR	CBM_IR/ NBM_IR	CBM_IR/ C	NBM_IR/ N	FCO <sub>2</sub>	RB	
		--- (g kg <sup>-1</sup> ) ---			(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	----- (μg g <sup>-1</sup> ) -----				(%)	(%)	mL min <sup>-1</sup>	μL h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	
21-40 cm														
Média	5 anos	12,67	1,29	9,88	6,73	61,76	101,60	85,85	1,13	8,02	66,93	431,78	2,03	
	18 anos	9,68	1,11	8,74	5,73	82,43	261,86	55,72	5,73	27,05	49,79	435,25	2,88	
	Seringais	19 anos	8,62	1,21	7,22	9,48	66,07	130,43	94,50	1,38	15,13	78,95	450,83	1,04
		20 anos	6,85	1,94	3,48	8,21	53,16	169,03	35,02	5,09	24,68	17,85	454,38	1,38
	Floresta	Primária	12,64	1,07	11,88	6,98	70,61	111,39	54,96	2,03	8,81	52,34	467,83	0,74
Mediana	5 anos	12,72	1,28	10,04	6,60	65,58	99,38	88,07	1,06	7,81	68,27	431,72	2,14	
	18 anos	9,98	1,12	8,91	5,75	79,67	257,56	37,80	5,63	25,81	33,75	434,78	2,87	
	Seringais	19 anos	8,71	1,19	7,71	9,75	56,00	134,36	93,74	1,43	15,43	80,36	429,66	1,10
		20 anos	6,66	1,93	3,48	8,15	50,23	179,06	31,09	5,45	26,89	15,47	458,19	1,37
	Floresta	Primária	12,39	1,13	11,67	7,28	70,61	111,39	55,57	2,00	8,99	49,17	468,62	0,73
Máximo	5 anos	12,75	1,42	10,36	7,18	71,73	137,72	91,02	1,56	10,80	75,85	433,34	2,45	
	18 anos	10,90	1,21	10,19	6,08	123,75	303,37	91,85	9,44	27,83	78,12	436,55	3,42	
	Seringais	19 anos	9,86	1,37	8,35	10,17	103,06	151,96	95,63	1,62	15,91	86,00	531,17	1,60
		20 anos	9,98	2,27	4,40	9,52	67,78	190,93	52,41	6,14	30,59	23,09	496,32	1,68
	Floresta	Primária	14,28	1,19	13,52	7,96	79,38	115,23	59,35	2,21	9,50	65,94	505,83	0,92
Mínimo	5 anos	16,53	1,51	10,95	8,32	149,50	380,19	81,27	4,94	25,91	37,49	479,81	0,89	
	5 anos	12,43	1,20	8,96	6,37	37,92	85,76	71,06	0,93	6,90	55,96	430,15	1,25	
	18 anos	8,31	1,05	7,42	5,30	56,60	212,72	32,13	2,77	25,60	28,69	433,72	2,33	
	Seringais	19 anos	7,55	1,09	5,51	8,02	47,77	103,50	93,74	1,08	13,71	68,42	428,13	0,57
		20 anos	4,78	1,69	2,83	7,11	44,72	146,24	25,44	3,42	19,13	13,90	415,78	1,19
Floresta	Primária	11,32	0,90	10,68	4,67	61,86	107,55	48,76	1,88	8,07	42,04	422,31	0,41	
		12,77	1,22	9,88	5,50	89,86	305,32	75,98	3,94	23,00	17,60	405,97	0,52	

C: carbono orgânico; N: nitrogênio total; CTC: capacidade de troca catiônica; CBM\_IRGA: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método IRGA; CBM\_IR: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); NBM\_IR: nitrogênio da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); RB: respiração basal; FCO<sub>2</sub>: fluxo de CO<sub>2</sub>.

... continuação Tabela 3.

Variável		C	N	C/N	CTC	CBM_	CBM_	NBM_	CBM_IR/	CBM_IR/	NBM_IR/	FCO <sub>2</sub>	RB	
		--- (g kg <sup>-1</sup> ) ---			(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	IRGA	IR	IR	NBM_IR	CBM_IR/	CBM_IR/	NBM_IR/	mL min <sup>-1</sup>	μL h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>
		----- (μg g <sup>-1</sup> ) -----												
		21-40 cm												
Desvio padrão	5 anos	0,13	0,08	0,54	0,38	14,13	21,31	8,40	0,26	1,68	7,45	0,49	3,97	
	18 anos	0,99	0,06	1,23	0,31	25,10	33,85	28,78	2,77	5,80	24,93	0,42	10,23	
	Seringais	19 anos	0,94	0,12	1,15	0,84	22,30	22,32	1,04	0,24	4,13	7,41	0,40	0,43
		20 anos	1,92	0,22	0,61	0,93	9,02	19,85	11,13	1,11	5,91	4,23	0,19	2,86
	Floresta	44 anos	1,10	0,13	1,04	1,34	7,63	2,72	4,39	0,13	0,88	10,41	0,21	2,86
	Primária	1,43	0,11	0,38	1,05	27,25	29,64	2,43	0,38	4,27	8,20	0,15	0,53	
Assimetria	5 anos	-2,17	1,30	-1,64	0,42	-1,71	1,69	-2,07	1,47	1,59	-0,59	-1,30	-1,14	
	18 anos	-0,37	0,95	-0,04	-0,49	1,36	-0,43	0,65	0,34	1,00	0,59	-0,02	0,12	
	Seringais	19 anos	0,20	0,50	-0,89	-1,89	1,55	-0,29	0,61	-0,37	0,06	-0,65	0,30	0,04
		20 anos	1,27	0,68	0,72	0,44	1,34	-0,34	1,16	-0,95	-0,48	0,58	1,18	2,24
	Floresta	44 anos	0,65	-0,65	0,99	-1,83	0,00	0,00	-0,59	0,26	0,60	0,50	-1,07	0,04
	Primária	0,95	-0,17	-0,60	-1,43	-0,14	-1,34	0,30	-0,61	-0,91	-1,57	0,28	-0,74	
Curtose	5 anos	4,78	2,46	3,02	-2,97	2,70	3,08	4,40	1,61	2,74	0,52	1,06	2,51	
	18 anos	-0,36	0,99	-2,52	-0,47	2,65	0,51	-2,92	-1,57	1,27	-3,27	-0,86	-2,63	
	Seringais	19 anos	-1,38	-1,54	-0,50	3,91	2,22	-2,69	-3,33	-2,45	-2,27	-1,12	-0,63	-1,34
		20 anos	2,64	0,53	0,16	-0,38	1,75	-2,69	0,56	-0,20	-1,89	-2,86	1,62	5,00
	Floresta	44 anos	0,79	-2,22	2,04	3,57	-2,49	2,00	-1,08	-1,09	1,01	-2,21	1,05	0,41
	Primária	1,12	-1,19	2,01	2,94	-2,76	2,00	-2,72	0,49	0,73	2,27	-1,18	0,50	
CV(%)	5 anos	1,06	6,38	5,49	5,64	22,88	20,97	9,78	23,39	20,94	11,14	24,07	11,99	
	18 anos	10,25	5,56	14,10	5,34	30,44	12,93	51,66	48,27	21,16	50,07	14,72	27,69	
	Seringais	19 anos	10,90	9,93	15,97	8,88	33,76	17,11	1,10	17,23	26,70	9,39	38,63	2,77
		20 anos	28,00	11,32	17,60	11,38	16,97	11,74	31,78	21,87	22,87	23,70	13,98	10,97
	Floresta	44 anos	8,72	11,91	8,76	19,22	10,81	2,44	7,99	6,36	9,88	19,88	28,58	27,45
	Primária	9,96	8,37	3,64	14,48	22,90	8,38	3,08	8,37	17,05	26,25	22,08	9,18	
Shapiro-Wilks		0,96 <sup>ns</sup>	0,82*	0,88*	0,97 <sup>ns</sup>	0,88*	0,90*	0,88*	0,90*	0,94*	0,92*	0,93*	0,88*	

C: carbono orgânico; N: nitrogênio total; CTC: capacidade de troca catiônica; CBM\_IRGA: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método IRGA; CBM\_IR: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); NBM\_IR: nitrogênio da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); RB: respiração basal; FCO<sub>2</sub>: fluxo de CO<sub>2</sub>. <sup>ns</sup>Não-significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Shapiro-Wilks.

## 5.2. Acúmulo de fitomassa de carbono

Os dados da circunferência do caule há 1,3 m do ponto de enxerto, massa seca da parte aérea e o estoque de carbono na biomassa aérea estão apresentados na Tabela 2.

**TABELA 3** - Circunferência do caule há 1,3 m do ponto de enxerto (cm), massa seca da parte aérea (MSPA), estoque de carbono na biomassa aérea (ECBA), Manaus-AM, 2012.

Cobertura Vegetal	Circunferência (cm)	MSPA (kg ha <sup>-1</sup> )	ECBA (kg ha <sup>-1</sup> )
5 anos	128,81	1.934,50	870,53
18 anos	180,83	4.974,18	2.238,38
Seringais 19 anos	166,57	3.957,80	1.781,01
20 anos	167,51	4.020,30	1.809,14
44 anos	232,72	10.036,70	4.516,52
Floresta Primária	-	150.000-325.000*	148.000-194.000*

\* SALOMÃO et al., (1998); KELL et al., (2001); HIGUCHI et al., (2004); AMAZONAS (2009).

Analisando o carbono da biomassa aérea de diferentes idades de seringais (Tabela 3) pode-se observar que está bem aquém da biomassa média de florestas primárias encontrada na literatura (SALOMÃO et al., 1998; KELL et al., 2001; HIGUCHI et al., 2004; AMAZONAS, 2009), contudo, apresenta potencial para estoque de carbono, constituindo uma atividade altamente sustentável e, claramente enquadrada, no conceito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e no protocolo de quioto (CARMO et al., 2003).

Além do mais, constata-se que ao decorrer dos anos e com o aumento da circunferência do caule dos seringais aumenta a biomassa e o estoque de carbono, além do mais as florestas apresentam maior número de plantas por área, o que não ocorre com seringais plantados, que geralmente, apresentam espaçamento de 7,0 m x 3,0 m. Pode ser observado que o seringal de 18 anos por apresentar copa *H. pauciflora*, provavelmente maior resistência ao mal-das-folhas (MORAES; MORAES,

2008; MORAES et al., 2008), apresentou um melhor desenvolvimento, verificado pela circunferência do caule e conseqüentemente maior acúmulo de carbono na biomassa aérea.

### **5.3. Fertilidade do solo**

Os coeficientes de variação (CV%) para a maioria dos atributos químicos dos solos avaliados foram elevados nas três profundidades. Este alto valor de CV% explica-se por serem solos que foram sujeitos a condições de uso e manejo diferentes no decorrer dos anos que intensificam a heterogeneidade entre amostras de um mesmo ambiente. Embora no momento da amostragem estas práticas não tenham sido possível de identificação, podem ter contribuído para aumentar a heterogeneidade dos valores observados para os atributos químicos dos solos das sete diferentes áreas amostradas.

A análise estatística aplicada considerou cada amostra de solo como pertencente a uma repetição de um mesmo tratamento no caso a floresta primária de referencia e os seis seringais. De fato não houve o controle experimental, contudo, as amostras foram resultantes de coletas independentes. Essa abordagem pode resultar em maior erro da média dentro das cronossequencias estudadas (fator considerado controlado), podendo, assim, diminuir a capacidade do método em diferenciar estatisticamente as médias entre diferentes cronossequencias. Apesar da abordagem metodológica supracitada, foi possível constatar diferenças entre as médias à 5% de probabilidade, pelo teste aplicado, as quais puderam ser associadas as diferentes coberturas do solo como sendo influenciadas pelas diferenças nas cronossequencias estudadas.

A conversão da floresta primária por seringal pouco alterou a fertilidade do solo, apresentando valores baixos de bases trocáveis, especialmente Ca e Mg, característica de solos distróficos, de baixa fertilidade. O menor teor de cátions trocáveis nos seringais em relação à floresta primária pode ser atribuído à baixa CTC destes solos e às perdas de nutrientes menos retidos nos sítios de troca.

No presente trabalho, o pH do solo apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre a floresta primária e as áreas de seringais, sendo o seringal de 19 anos o que se apresentou mais ácido (Tabela 4). Apesar de apresentar diferença significativa, o pH não apresentou relação linear, positiva e significativa ( $p \leq 0,05$ ) com o aumento da matéria orgânica (Figura 2), isso, provavelmente, pode ser devido ao poder tampão decorrente da presença da matéria orgânica, o que confere ao solo resiliência nas mudanças de pH (BALDOCK; NELSON, 1999). Os valores de  $\Delta pH$  negativo indica a existência de carga elétrica líquida negativa, resultado atribuído ao fato de que a maior parte da CTC desses solos estão associada à matéria orgânica.

Segundo EMBRAPA (2006), um solo de pH abaixo de 4,4 é considerado extremamente ácido, sendo assim, esta classificação pode ser aplicada ao presente estudo e corroborando com resultados de Plácido Júnior (2007), que estudando a distribuição e caracterização química da fertilidade dos solos do Estado do Amazonas, obteve 96,5% do pH do solo entre 3,0 e 5,0. Sendo assim, é frequente encontrar esse intervalo nos solos da Amazônia e como o desenvolvimento de diversas culturas na Amazônia é realizado na faixa de pH entre 4,4 a 6,5, que promove a disponibilidade de macronutrientes e de micronutrientes, como ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn), que são exigidos em menores quantidades pelos vegetais e estão presentes neste valor de pH da faixa sugerida. Assim, embora não se atinja o máximo de absorção de nutrientes de acordo com a

disponibilidade em relação ao valor específico de pH, obtém-se a disponibilidade de grande variedade dos elementos essenciais ao desenvolvimento do vegetal (GAMA, 2004; SILVA, 2003; SILVA et al., 2006).

Na camada superficial do solo, 0-10 cm, a disponibilidade de P variou entre as cronossequencias, sendo que o maior valor foi observado no seringal de 20 anos e nas profundidades de 11-20 e 21-40 cm, o seringal de 19 anos (Tabela 4), sendo os únicos que os níveis de P disponível não foram abaixo de  $5,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , que é considerada muito baixa (ALVAREZ VENEGAS et al., 1999).

Moreira e Malavolta (2004) observaram aumento dos teores de P disponível em relação à floresta primária para áreas de manejo, valores muito próximos aos encontrados nesse estudo. Já Moreira e Costa (2004) observaram que o reflorestamento ocasionou aumento gradual dos teores de fósforo (P) disponíveis, estando esse em maior valor na floresta primária e estando diretamente relacionados com o conteúdo de matéria orgânica, havendo um aumento linear e significativo ( $p \leq 0,05$ ), sendo que o observado no estudo não apresentou correlação significativa com o teor de matéria orgânica (Figura 2).

Em solos intemperizados, como é o caso dos latossolos, onde há predomínio de óxidos de ferro (Fe) e/ou, alumínio (Al) na fração argila, os processos de fixação de fósforo são um dos principais mecanismos que controlam a disponibilidade deste nutriente para as plantas. Solos cauliniticos apresentam fixação de P em menor magnitude que os solos oxídicos. Neste caso, o principal processo de fixação de P seria o de adsorção (WADT, 2005; NOVAIS et al., 2007).

Os solos da região estudada são de mineralogia predominantemente caulínica, com altos teores de óxidos de Fe e, principalmente, de Al (CERRI et al., 1999). Como são solos ácidos, com elevados teores de alumínio trocável, é possível

que parte dos processos de fixação de P seja controlada também por reações de precipitação com Al trocável, ou, com menor probabilidade, cálcio (Ca) trocável devido aos baixos teores encontrados ou da formas iônicas de Fe, que nos solos em questão se apresentam em elevadas quantidades.

As quantidades de base trocáveis (K, Ca e Mg) apresentaram diferença significativa entre coberturas (Tabela 4). Segundo Carvalho (1986), estudando caracterização de solos do Sul do Amazonas, afirmam que os baixos valores de bases trocáveis podem ser atribuídos ao intemperismo do material de origem do solo, com pouco ou nenhum material primário, sendo o suprimento de nutrientes advindo basicamente da matéria orgânica do solo. Em geral, as interpretações de Ca e de Mg estão vinculadas à correção de acidez do solo (CANTARUTTI et al., 2007), sendo esta prática, geralmente, realizada na época que os seringais são plantados.

Os solos da Amazônia são caracterizados, na sua maior parte, por baixos níveis de Ca e Mg (ALFAIA; MURAOKA, 1997), o que pode ser confirmado pelos resultados obtido no presente trabalhos nas seis diferentes áreas estudadas.

Com a mineralização da matéria orgânica há liberação de bases antes imobilizadas nos tecidos vegetais para a solução do solo (SOUZA et al., 2006), provavelmente, os valores de Ca e Mg, neste estudo, devam-se ao fato de a disponibilidade do Ca+Mg estar associada ao teor de matéria orgânica do solo, havendo um aumento linear e significativo ( $p \leq 0,05$ ), o mesmo não ocorrendo com os teores de K (Figura 2), isso ocorre, pois, os teores de K disponíveis se restringe a fração orgânica viva, portanto, está em menor teor na matéria orgânica do solo (ERNANI et al., 2007), além disso a elevada precipitação (superior a 2.000 mm ano<sup>-1</sup>)

apresentada pela região adicionada a baixa retenção de cátions e a alta solubilidade deste elemento favorece a lixiviação para as camadas subsuperficiais.

Independente da idade do seringal ou da cobertura vegetal, os solos das áreas apresentaram baixa fertilidade natural, com teores de nutrientes considerados baixos, dentro da classificação, a saber: P disponível, 0 a 5 mg dm<sup>-3</sup>, K disponível, 0 a 45 mg dm<sup>-3</sup>, Ca trocável, 0 a 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg trocável, 0 a 0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. O teor de Al trocável foi maior que 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, estando dentro da faixa considerada como alta (ALVAREZ VENEGAS et al., 1999).

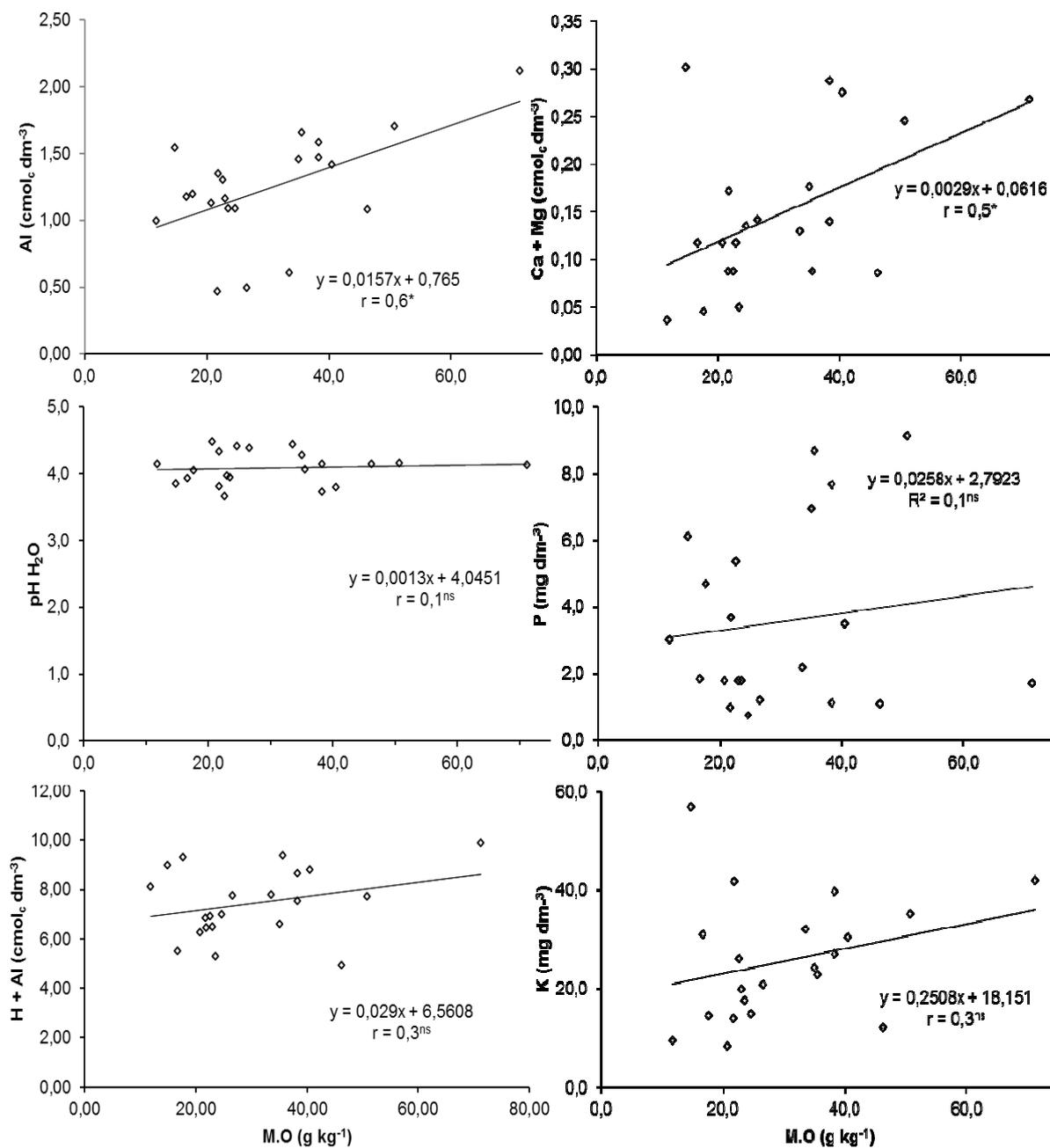
Os valores de Al foram altos nas três profundidades (0-10, 11-20 e 21-40 cm), nos cinco seringais, sendo que apenas no seringal de 44 anos apresentou valor inferior a 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Na camada superficial, a floresta primária apresentou o maior valor em relação às outras coberturas. A acidez potencial (H+Al) não foi influenciada pelo conteúdo de matéria orgânica, contudo, os teores trocáveis de Al estão diretamente relacionados com o conteúdo de matéria orgânica, havendo aumento linear e significativo ( $p \leq 0,05$ ) desses três elementos no solo (Figura 2).

O valor de capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos sob floresta e seringais (Tabela 4), na camada superficial, apresentaram-se, segundo Alvarez Venegas et al. (1999), como classificando os solos em médio (seringais de 5, 16, 18 e 44 anos), bom (floresta primária e seringais de 19 e 20 anos), contudo, com alta participação da acidez potencial (H+Al) no complexo de troca e elevada acidez trocável (Al trocável). Segundo Alfaia et al. (2008), a CTC dos solos da Amazônia é alta, como consequência da acidez trocável também é alta. Sendo assim, como o material constituinte da fração coloidal é muito semelhante, provavelmente, o alto valor da CTC ocorrida nesses solos foi devido ao teor H+Al e de matéria orgânica, que apresenta cargas negativas originadas, principalmente, da dissociação dos grupos carboxílicos e fenólicos (NOVAIS; MELLO, 2007).

**TABELA 4** - Atributos químicos de um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 11-20 cm e 21-40 cm, Manaus-AM, 2012.

Cobertura Vegetal	H <sub>2</sub> O	pH KCl	ΔpH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V
				----- mg kg <sup>-1</sup> -----		-----		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			%
0-10 cm											
Seringais											
5 anos	4,0 c	4,1 b	-0,1	1,78 b	20,00 b	0,06 c	0,06 c	1,16 b	6,49 b	6,69 c	2,97 b
18 anos	4,1 b	4,2 b	-0,1	1,09 b	12,20 b	0,04 c	0,04 c	1,08 b	4,32 a	5,06 d	2,83 b
19 anos	3,8 c	4,1 b	-0,3	3,51 b	30,40 a	0,17 a	0,11 b	1,41 c	8,81 d	9,20 a	4,39 a
20 anos	4,0 b	4,2 b	0,0	8,67 a	22,80 b	0,02 c	0,07 c	1,66 d	9,36 d	9,56 a	2,17 b
44 anos	4,4 a	4,3 a	0,1	2,20 d	32,00 a	0,06 c	0,03 c	0,60 a	7,83 c	8,05 b	3,35 b
Floresta Primária	4,1 b	3,9 c	0,2	1,70 b	42,00 a	0,10 b	0,17 a	2,10 e	9,90 d	10,37 a	4,55 a
CV(%)	6,20	3,26	-	89,05	45,65	78,97	54,07	38,07	24,25	24,08	42,99
11-20 cm											
Seringais											
5 anos	3,7 d	4,3 b	0,6	5,36 a	26,00 b	0,05 c	0,04 c	1,30 b	6,92 a	7,11 b	2,66 c
18 anos	3,9 c	4,3 b	-0,4	1,78 c	17,60 b	0,03 c	0,02 c	1,09 b	5,29 a	5,41 c	2,17 c
19 anos	3,7 d	4,2 b	-0,5	7,67 a	39,60 a	0,07 b	0,07 b	1,47 c	8,66 b	8,95 a	3,15 c
20 anos	4,0 b	4,2 b	-0,2	3,93 b	14,60 b	0,01 c	0,03 c	1,20 b	9,30 b	9,43 a	1,49 c
44 anos	4,4 a	4,5 a	-0,1	1,20 c	20,80 b	0,07 b	0,08 b	0,50 a	7,77 b	8,00 a	2,30 c
Floresta Primária	4,1 b	4,1 c	0,0	1,13 c	27,00 b	0,17 a	0,12 a	1,58 c	7,53 b	7,97 a	6,45 a
CV(%)	6,76	3,62	-	86,57	44,01	90,94	54,70	31,37	24,81	24,01	63,24
21-40 cm											
Seringais											
5 anos	3,8 c	4,4 a	-0,6	3,68 b	37,80 b	0,10 b	0,07 b	1,27 b	6,44 a	5,73 b	4,41 a
18 anos	3,9 c	4,4 a	-0,5	1,85 c	31,00 b	0,06 c	0,05 b	1,17 b	5,51 a	5,73 b	3,93 a
19 anos	3,9 c	4,3 a	-0,5	6,11 a	56,80 a	0,17 a	0,13 a	1,54 c	8,99 b	9,48 a	5,10 a
20 anos	4,1 b	4,4 a	-0,2	1,79 c	9,40 c	0,01 c	0,02 c	0,98 b	8,10 b	8,21 a	1,33 b
44 anos	4,3 a	4,5 a	-0,1	1,00 c	14,00 b	0,02 c	0,07 b	0,46 a	6,83 a	6,98 b	2,30 b
Floresta Primária	4,4 a	4,4 a	0,0	0,75 c	14,80 b	0,06 c	0,08 b	1,09 b	7,00 b	7,24 b	3,57 a
CV(%)	6,63	2,14	-	79,16	89,18	93,84	50,77	30,53	21,50	21,52	46,43

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.



**FIGURA 2 -** Relação entre a matéria orgânica com atributos químicos do solo. <sup>ns</sup>Não-significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A conversão da floresta primária por seringal reduziu os valores de sódio (Na), apresentando diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as diferentes coberturas vegetais, nas três profundidades amostradas (Tabela 5). As funções desempenhadas pelo Na em plantas ainda não são bem conhecidas. De acordo com MARSCHNER (1995), o papel do sódio na nutrição mineral de plantas superiores pode ser considerado como essencial, ou como substituto do K em algumas funções – metabólicas e osmóticas, contudo, a essencialidade do Na como um micronutriente foi estabelecida, segundo Subbarao et al. (2003), para certas espécies de planta  $C_4$  (*Atriplex versicaria*, *A. tricolor*, *Kochia childsii*, *Panicum miliaceum*, *Distichlis spicata*). Em outro contexto, o Na tem estimulado o crescimento e promovido aumentos de produção em palmeiras (BONNEAU et al., 1993; MAGAT et al., 1993), porém, há necessidade de mais estudos.

**TABELA 5** - Teores de micronutrientes disponível de um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, Manaus-AM, 2012.

Cobertura Vegetal		Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
<b>0-10 cm</b>						
Seringais	5 anos	6,00 e	3,41 a	372,00 a	4,81 a	8,18 b
	18 anos	5,60 e	1,29 b	307,00 b	2,78 b	14,30 a
	19 anos	8,60 d	0,65 c	418,10 a	1,75 c	11,92 a
	20 anos	13,00 c	1,59 b	257,40 b	0,94 c	14,84 a
	44 anos	11,80 c	0,26 c	174,40 c	0,40 c	7,83 b
Floresta	Primária	21,00 a	0,32 c	298,00 b	2,71 b	12,13 a
	CV(%)	46,38	60,52	29,13	77,04	44,67
<b>11-20 cm</b>						
Seringais	5 anos	7,80 d	1,44 a	398,40 a	2,46 a	9,05 a
	18 anos	5,60 e	0,60 b	361,40 a	1,57 b	6,05 b
	19 anos	9,00 d	0,49 b	385,80 a	1,33 b	12,66 a
	20 anos	12,20 c	0,68 b	367,80 a	1,17 b	12,30 a
	44 anos	9,80 d	0,26 b	176,40 c	0,31 b	10,48 a
Floresta	Primária	17,80 a	0,23 b	377,80 a	1,15 b	6,86 b
	CV(%)	38,84	44,97	29,01	68,04	51,52
<b>21-40 cm</b>						
Seringais	5 anos	7,60 c	0,69 a	319,80 a	2,28 a	6,54 b
	18 anos	6,60 c	0,35 a	367,60 a	1,41 b	6,25 b
	19 anos	9,00 c	0,26 a	309,60 a	1,21 b	8,31 b
	20 anos	10,80 b	0,54 a	264,00 b	0,97 c	12,81 a
	44 anos	7,00 c	0,48 a	152,50 c	0,49 c	14,36 a
Floresta	Primária	14,80 a	0,20 a	302,60 a	1,64 b	5,96 b
	CV(%)	32,97	66,16	29,14	50,74	57,17

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.

#### 5.4. Matéria orgânica do solo

A conversão da floresta primária em seringais acarretou alterações nos principais atributos biológicos do solo (Tabela 6). A remoção da floresta ocasionou uma diminuição média de 46% do carbono orgânico no solo, diferindo assim estatisticamente das demais cronossequências de seringais, chegando esse valor a 66% quando comparado com o plantio instalado há 5 anos, sendo esse o único que não variou estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) o valor de carbono orgânico ao longo do perfil (Tabela 6, Figura 3). Tais resultados corroboram com Moreira e Costa (2004), em estudos da dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta Amazônica, que também verificaram que mesmo após 10 anos do reflorestamento houve uma redução média de 62% no estoque de C no solo quando comparado com a floresta primária.

A retirada de toda camada superficial do solo, ocorrido devido o desmatamento, promove uma quebra significativa no conteúdo de carbono, no estoque e na dinâmica da matéria orgânica, a qual está diretamente relacionada com a presença da serapilheira (CERRI, 1989; CERRI et al, 1996), contudo os resultados obtidos, com exceção ao seringal plantado há 5 anos e na profundidade de 21-40 cm, apresentam teor de C acima de  $15,0 \text{ g kg}^{-1}$ , que segundo Gama (2004), considerado alto.

Com relação ao C da biomassa microbiana (CBM-IRGA), essa redução foi de 32%, independente da idade do seringal, havendo diferença significativa entre os seringais e a floresta primária e ao longo da profundidade do solo (Tabela 6, Figura 3). A biomassa microbiana de C e N obtidas por irradiação e extração (IR) e N total foram maiores na camada de 0-10 cm, região com grande quantidade de

serapilheira, e conseqüentemente, maior presença de matéria orgânica, caracterizada pelo C orgânico supracitado, havendo neste caso uma redução acentuada com o aumento da profundidade do solo (Figura 3 e 4).

Moreira e Fageria (2011), em solos da Amazônia nas mesmas condições de clima e solo, encontraram na camada de 0-10 cm, teores de C e N da biomassa microbiana na floresta, semelhantes aos desse trabalho. Entretanto, Moreira e Malavolta (2004), encontraram, em solos de floresta primária na Amazônia, valores de CBM entre 196,89 e 708,03 mg kg<sup>-1</sup> solo e de NBM 46,82 mg kg<sup>-1</sup> solo. Já Feigl et al. (1995) em solos na Amazônia, encontraram valores de CBM de 765 a 1287 mg kg<sup>-1</sup> solo e Pfenning et al. (1992), em solos de floresta Amazônica, valores de CBM entre 463 a 817 mg kg<sup>-1</sup> solo.

O método IR apresentou maior capacidade de extração de C do que o IRGA. Porém, cabe destacar, a semelhança do método do clorofórmio fumigação extração (CFE), os maiores valores obtidos na irradiação extração podem estar relacionados ao maior poder de extração do C de origem não microbiana do solo pelo K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, o que não acontece com o método IRGA, uma vez que este se baseia na adição de glicose no solo estimulando a liberação de CO<sub>2</sub> (CARDOSO, 2004; BRANDÃO-JUNIOR et al, 2008).

Na Tabela 6, ao analisar o N total, verificou-se que na camada de 0-10 cm o seringal de 20 anos foi semelhante ao da floresta primária (p≤0,05) e com a profundidade esses valores diferiram entre si em todas as variações de cobertura vegetal, contudo no N da biomassa microbiana (IR) os seringais com 5, 18 e 44 anos, na mesma profundidade supracitada foram iguais ao da floresta primária.

Valores muito próximo aos desse estudo foram encontrados por Ferreira et al. (1997) em uma floresta de terra firme em Manaus, com teores de N entre 2,0 g kg<sup>-1</sup> e

3,6 g kg<sup>-1</sup> e Moreira e Malavolta (2004), avaliando alterações nos solos submetidos à sucessão de cobertura vegetal e de manejo na Amazônia Ocidental, encontraram valor de N total entre 1,07 e 1,87 g kg<sup>-1</sup> de N, em floresta primária sobre Latossolo Amarelo distrófico. Gama (2004) enfatiza que o teor de N acima de 1,5 g kg<sup>-1</sup> de N é considerado alto.

A quantidade de CBM é indicada, por alguns autores, para ser utilizada como indicador da qualidade do solo, pelo fato de ser sensível à variação da cobertura do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993; GAMA-RODRIGUES et al, 1997; DE-POLLI; GUERRA, 2008; BAYER; MIELNICZUK, 2008). Os resultados obtidos nesse estudo confirmam que a biomassa microbiana é mais sensível que o resultado quantitativo do C orgânico e do N total para aferir alterações no uso e na cobertura do solo, corroborando com Gama-Rodrigues et al. (2008), pois, com a mudança da floresta primária em seringais os valores de CBM diminuíram significativamente em comparação com os seringais. Sob todos os três tipos de cobertura vegetal, a medição pelos métodos IE e IRGA revelou um declínio no CBM com o aumento da profundidade.

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) apresentou os menores valores, estatisticamente, no solo sob a floresta primária e nos seringais de 20 e 44 anos (Tabela 6), na camada de 0-10 cm. Isso indica que a biomassa microbiana foi mais eficiente na utilização dos compostos orgânicos, liberando menos carbono na forma de CO<sub>2</sub> e incorporando mais carbono aos tecidos microbianos (MERCANTE et al., 2005).

O resultados, apresentados na Tabela 6, demonstraram relação inversa entre o  $qCO_2$  e a biomassa microbiana, pois, segundo Balota et al. (1998), com maiores teores de carbono ocorre a diminuição na atividade metabólica e aumento da

biomassa microbiana. Esse fato pode ser comprovado pelo aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) do quociente metabólico ao longo do perfil do solo, com exceção do seringal plantado há 44 anos e da própria floresta primária que se manteve semelhante, refletindo um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio. Portanto, os maiores valores de  $qCO_2$  são encontrados em condições ambientais estressantes, nas quais a biomassa microbiana consome mais carbono para sua manutenção (SOUZA et al., 2006).

O  $qCO_2$  encontrado no presente estudo corrobora os achados de Moreira e Costa (2004), Moreira e Malavolta (2004) e Moreira e Fageria (2011) sob as mesmas condições edafoclimáticas. Contudo, esses estudos relataram que os valores mais baixos de  $qCO_2$  foram encontrados no solo sob floresta, sendo que no presente estudo os seringais de 20 e 44 anos apresentaram semelhantes aos da floresta primária, na camada de 0-10cm.

Na profundidade de 0-10 cm, o solo sob seringal com 20 anos apresentou a menor atividade respiratória, sendo que apenas o seringal com 5 anos apresentou maior valor ( $p \leq 0,05$ ) em relação a floresta primária. Houve diferenças com o aumento da profundidade, em todas as áreas estudadas, isso segundo Fernandes (1999), indica que a atividade metabólica está diretamente relacionada ao conteúdo de matéria orgânica no solo. Sendo assim, os resultados demonstraram que, após o desmatamento, o processo de ciclagem e a atividade dos componentes da matéria orgânica são severamente afetados.

Portanto, a respiração basal por unidade de biomassa microbiana diminui em agroecossistemas mais estáveis, caso das florestas primárias, porém, como o  $qCO_2$  indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar C disponível para a biossíntese (BALOTA et al., 1998; SAVIOZZI et al., 2002), o aumento do  $qCO_2$ , nos

seringais, podem ter ocorrido devido a decomposição mais acelerada dos resíduos vegetais, decorrente da substituição da cobertura vegetal (OCIO; BROOKES, 1990), ou em razão de menor disponibilidade de nutrientes para a microbiota do solo (AGNELLI et al, 2001), sendo os menores valores observados no solo sob floresta primária indica que a biomassa microbiana é mais eficiente no uso do C, diminuindo as perdas por CO<sub>2</sub> e incorporando mais nos tecidos microbianos.

A floresta primária apresentou maior respiração induzida ( $p \leq 0,05$ ), nas três profundidades, quando comparadas com as áreas sob seringais (Tabela 6). No caso da respiração induzida, a mesma está diretamente relacionada à atividade microbiana do solo. Independentemente da cobertura vegetal ocorreu declínio da respiração induzida com o aumento da profundidade.

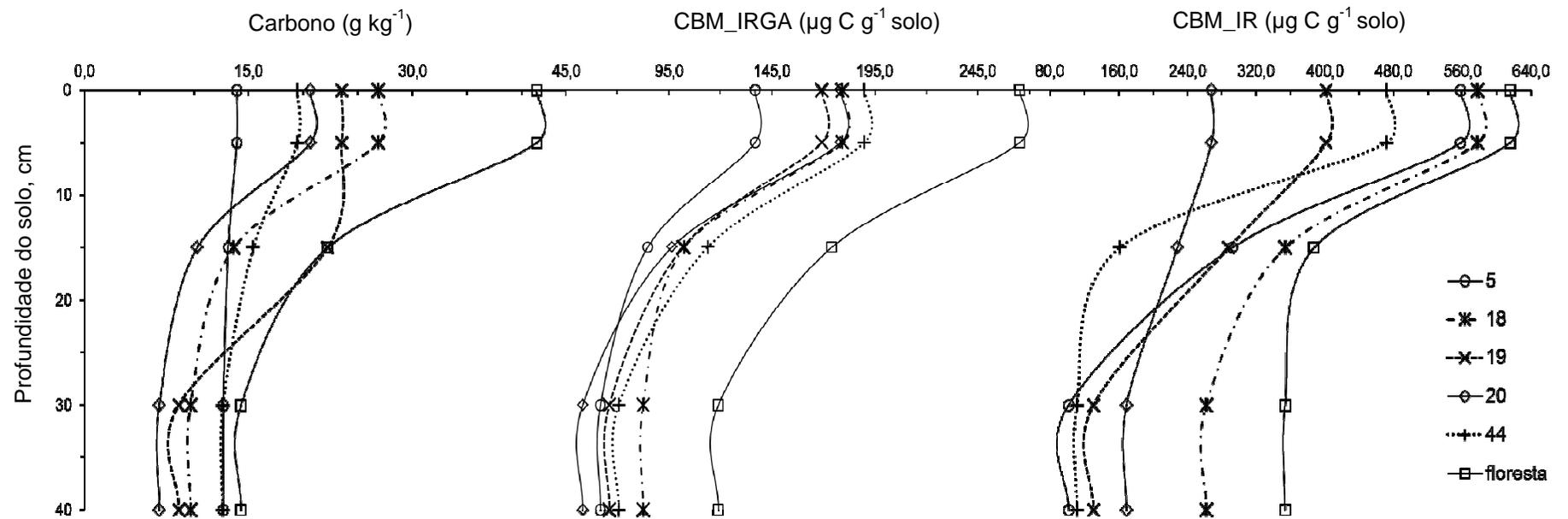
Os resultados obtidos através de indicadores biológicos e bioquímicos para avaliar o efeito da retirada da floresta primária por outro cultivo demonstram que o impacto no conteúdo e na qualidade da matéria orgânica é seriamente afetado, e mesmo em seringais implantados há 44 anos, não foi suficiente para repor os valores encontrados em sistema inalterado como o da floresta primária (Tabelas 6).

Contudo, os valores estabelecidos por cultivos de seringais, na maior parte das variáveis supracitadas apresentam mais próximos aos da floresta primária, quando comparado com valores obtidos para outros tipos de culturas, como é o caso Acacia (SIMÕES et al., 2010), cupuaçu (Moreira e Malavolta, 2004), cacau (SILVA et al., 2006; SILVA et al., 2007), açaizeiro (SILVA et al., 2007), pupunheira (SILVA et al., 2007) e mesmo com sistemas agroflorestais cacau com açaizeiro ou cacau com pupunheira (SILVA et al., 2007).

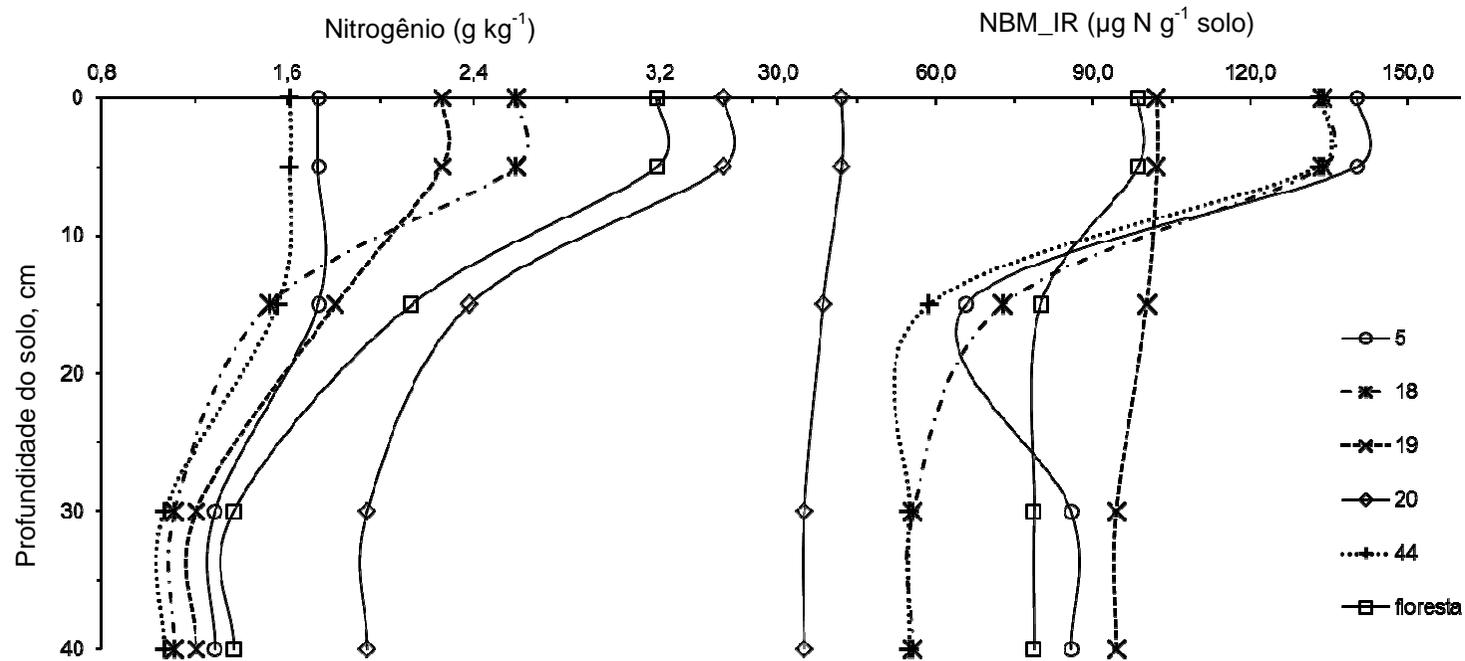
**TABELA 6** - Carbono orgânico, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana, quociente metabólico e respiração basal e induzida, em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 11-20 cm e 21-40 cm, Manaus-AM, 2012.

Prof, cm	Seringais					Floresta Primária
	5 anos	18 anos	19 anos	20 anos	44 anos	
	C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )					
0-10	13,91 Af	26,84 Ac	23,52 Ad	20,65 Ae	19,46 Ae	41,33 Aa
11-20	13,13 Ab	13,64 Bb	22,22 Aa	10,29 Bc	15,44 Bb	22,22 Ba
21-40	12,67 Aa	9,69 Cb	8,62 Bb	6,85 Cc	12,64 Ca	14,32 Ca
CV%	10,22					
	CBM_IRGA (µg g <sup>-1</sup> )					
0-10	136,76 Ad	179,09 Ac	169,08 Ac	178,22 Ac	189,81 Ac	265,25 Aa
11-20	84,53 Bb	102,43 Bb	101,60 Bb	96,31 Bb	113,72 Bb	173,91 Ba
21-40	61,76 Bb	82,43 Bb	66,07 Bb	53,15 Cb	70,61 Cb	118,97 Ca
CV%	22,51					
	CBM_IR (µg g <sup>-1</sup> )					
0-10	557,69 Aa	577,83 Aa	401,59 Ac	267,75 Ad	470,92 Ab	615,27 Aa
11-20	291,97 Bb	353,96 Ba	288,00 Bb	228,25 Ac	160,95 Bd	387,21 Ba
21-40	101,60 Cc	261,86 Cb	130,43 Cc	169,03 Bc	111,39 Bc	353,65 Ba
CV%	15,05					
	NBM_IR (µg g <sup>-1</sup> )					
0-10	140,31 Aa	133,89 Aa	91,32 Ab	47,30 Ac	146,45 Aa	98,58 Ab
11-20	65,76 Bb	72,88 Ba	100,23 Ab	38,57 Ab	58,74 Bb	79,98 Aa
21-40	85,85 Ba	55,72 Bb	94,50 Aa	35,02 Ab	54,96 Bb	78,70 Aa
CV%	27,99					
	N total (g kg <sup>-1</sup> )					
0-10	2,70 Ab	2,58 Ab	2,26 Ab	3,47 Aa	1,61 Ac	3,19 Aa
11-20	1,73 Bb	1,52 Bb	1,81 Bb	2,38 Ba	1,56 Ab	2,13 Ba
21-40	1,28 Cb	1,11 Cb	1,21 Cb	1,94 Ca	1,07 Bb	1,37 Cb
CV%	13,99					
	qCO <sub>2</sub> ((µg CO <sub>2</sub> /µg CBM h <sup>-1</sup> ) x 10 <sup>-3</sup> )					
0-10	14,41 Ab	10,38 Ab	9,03 Ab	3,87 Aa	7,09 Aa	5,23 Aa
11-20	41,46 Be	33,43 Bd	17,73 Bc	10,30 Bb	11,69 Ab	4,53 Aa
21-40	33,08 Cd	36,93 Bd	15,54 Bb	26,08 Cc	10,41 Aa	5,77 Aa
CV%	30,67					
	Respiração Basal (µL h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> )					
0-10	2,00 Ac	1,85 Ac	1,52 Bb	0,65 Aa	1,39 Bb	1,39 Bb
11-20	3,47 Bc	3,31 Bc	1,65 Bb	0,89 Aa	1,32 Bb	0,77 Aa
21-40	2,03 Ac	2,87 Bd	1,04 Ab	1,38 Bb	0,74 Aa	0,68 Aa
CV%	24,94					
	Respiração Induzida (µg C g <sup>-1</sup> )					
0-10	3,41 Ad	4,46 Ac	4,22 Ac	4,44 Ac	4,73 Ac	6,62 Aa
11-20	2,10 Bb	2,55 Bb	2,53 Bb	2,39 Bb	2,83 Bb	4,33 Ba
21-40	1,24 Cb	2,05 Bb	1,64 Cb	1,32 Cb	1,75 Cb	2,96 Ca
CV%	20,32					

CBM\_IRGA: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método IRGA; CBM\_IR: carbono da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); NBM\_IR: nitrogênio da biomassa microbiana obtido pelo método de irradiação e extração (IR); qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico. Médias seguidas por letras distintas minúsculas na mesma linha e médias seguidas por letras distintas maiúsculas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.



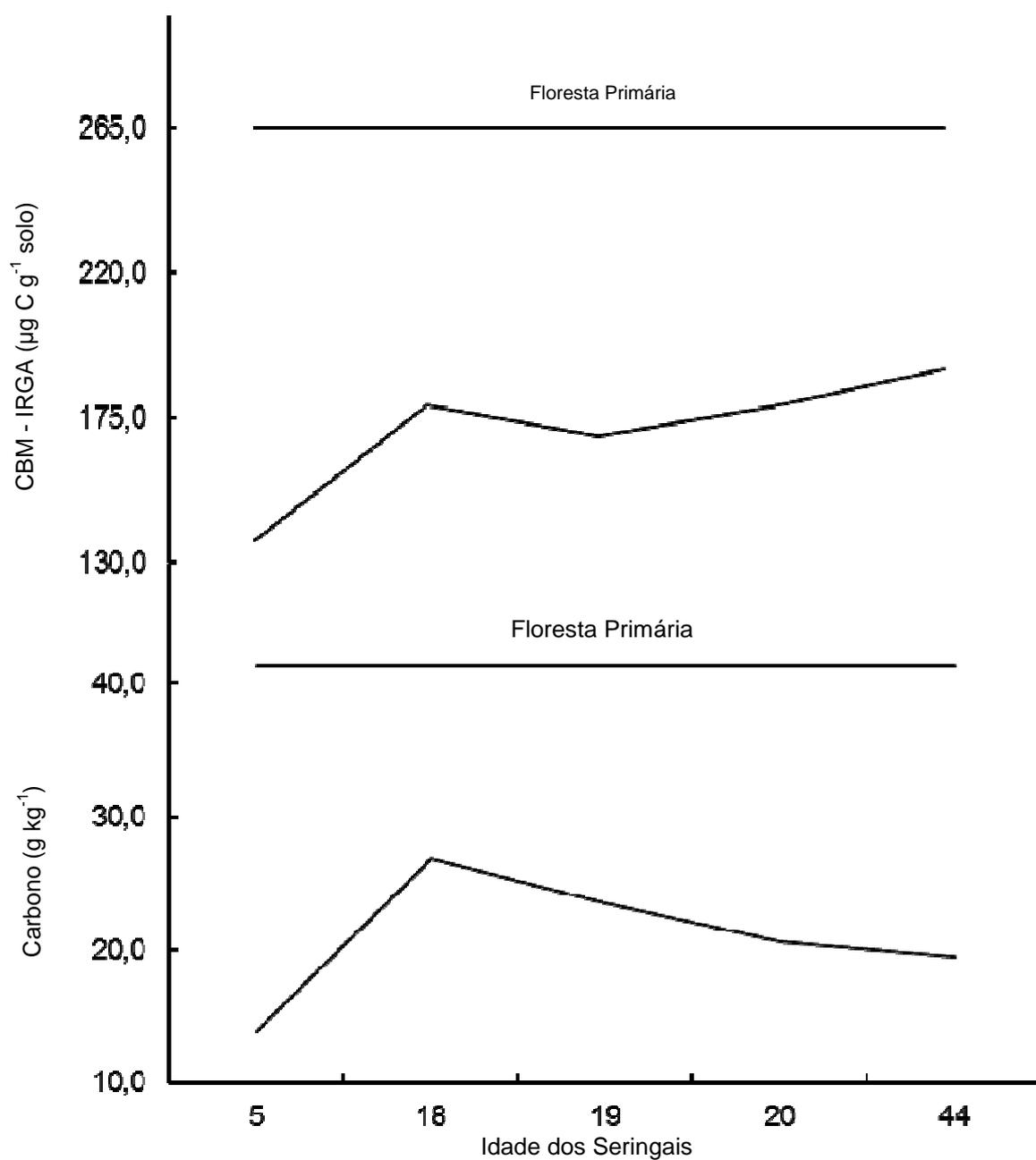
**FIGURA 3 -** Carbono orgânico e carbono da biomassa microbiana obtidos pelo método indireto IRGA e por irradiação e extração (IR), em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, ao longo do perfil de 0-40 cm.



**FIGURA 4 -** Nitrogênio total e nitrogênio da biomassa microbiana obtido por irradiação e extração (IR), em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, ao longo do perfil de 0-40 cm.

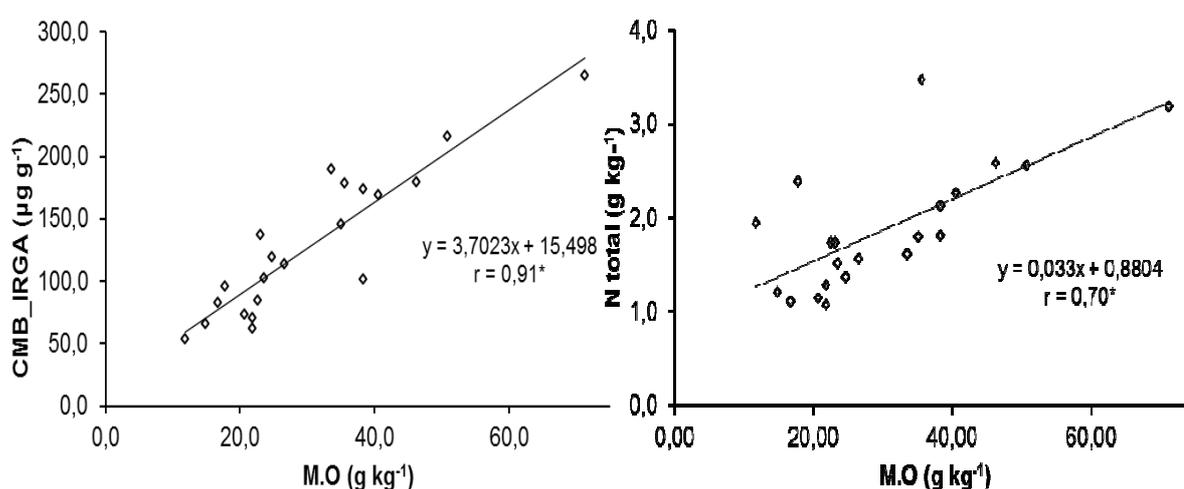
O desmatamento alterou significativamente o conteúdo de carbono no solo (Figura 5), tendo sido observada uma recuperação de mais da metade do C orgânico no solo (65%) após o décimo oitavo ano de idade do seringal, entretanto Johnson et al. (2001), ao estudarem o C no solo sob florestas secundárias, observaram que clareiras com 10 anos de idade apresentaram conteúdo de C, na camada de 0–10 cm, semelhante ao da floresta primária, contudo, sem a remoção da camada superficial na ocasião do desmatamento.

A maior recuperação no estoque de C orgânico e do C da biomassa microbiana pelo aparelho IRGA (Figura 5) ocorreu no seringal de 18 anos e 44 anos, respectivamente, isso pode ter ocorrido devido ao material presente nessa área apresentar maior contribuição de biomassa de carbono na serapilheira em relação aos demais seringais, sendo esta diretamente proporcional ao estoque de C no solo e representada pela relação C/N. O aumento da relação C/N, igualmente como na floresta primária, geralmente ocorre pela alta quantidade de folhas, ramos e galhos provenientes de diferentes espécies com altos teores da relação (lignina + polifenóis)/N, e indicam baixa capacidade de mineralização de N, resultando em baixa taxa de decomposição (VIEIRA; SANTOS, 1987; GAMA-RODRIGUES et al., 1997).



**FIGURA 5 -** Dinâmica do carbono orgânico e do carbono da biomassa microbiana (CBM) obtidos pelo método indireto IRGA, em um Latossolo Amarelo distrófico típico, decorrente da idade de seringais em comparação com a floresta primária, na profundidade de 0-10 cm.

A matéria orgânica do solo (MOS) (Figura 6) apresentou correlação linear significativa e positiva com o carbono da biomassa microbiana obtido pelo aparelho IRGA ( $r = 0,91$ ) e com o N total ( $r = 0,71$ ). A correlação positiva entre CMB\_IRGA e o teor de MOS ocorre devido à maior conversão de carbono orgânico total do solo em carbono da biomassa microbiana (MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000). Já a correlação entre o N e a MOS é devido a quase totalidade do nitrogênio do solo provir da mineralização da matéria orgânica (BRADY, 1989; SILVA; MENDONÇA, 2007).



**FIGURA 6** - Relação entre a matéria orgânica com o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) e com o nitrogênio total. <sup>ns</sup>Não-significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Analisando as frações da matéria orgânica (Tabela 7), verificou-se o predomínio da fração humina, seguida pelas frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, sendo significativamente mais elevada no solo sob floresta primária. Os elevados valores da fração humina podem estar relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade desta fração. Sendo assim, a maior permanência da fração humina no solo deveu-se à sua insolubilidade e resistência à

biodegradação, ocasionada pela formação de complexos metálicos estáveis e, ou, complexos argilo-húmicos (LONGO; ESPÍNDOLA, 2000).

A fração humina ligada carbono (C-humina), dentre todas as frações humificadas (Tabela 7), foi a presente em maior proporção, sendo significativamente mais elevada nos solo sob floresta primária, na camada de 0-10 cm. Este fato pode estar relacionado com a maior taxa de deposição de material orgânico que ocorre nessa área.

Tanto o carbono e quanto o nitrogênio ligados a fração humina apresentaram diferença ( $p \leq 0,05$ ) entre a floresta primária e os demais seringais. Nas situações estudadas, as frações humina (Tabela 7) concentraram-se, predominantemente, no horizonte superficial, revelando uma diminuição nas concentrações no aumento da profundidade, com exceção do seringal com 5 anos, que no C-humina, essa diferença não ocorreu.

O solo sob floresta apresentou maior quantidade ( $p \leq 0,05$ ) de ácidos fúlvicos, que os solos sob seringal, nas profundidades de 0-10 e 11-20 cm. Já com relação aos valores de ácidos húmicos, apenas o solo sob seringal 19 anos, na profundidade de 0-10 cm, não diferiu da floresta primária, fato esse que ocorreu nas demais profundidades. Esse maior conteúdo, principalmente, de ácidos húmicos no solo sob floresta é indicativo da melhor eficiência na humificação ocasionada pelo aumento da atividade microbiana, responsável pela síntese de substâncias mais condensadas (RANGEL: SILVA, 2007; PORTUGAL et al., 2008).

O conteúdo de ácidos húmicos dos solos estudados foi menor do que o dos ácidos fúlvicos, conferindo assim valores menores que 1 para a razão ácido húmico por ácido fúlvico. Kononova (1982) usou essa razão como indicador da qualidade do húmus, pois expressa o grau de evolução do processo de humificação da matéria

orgânica. Normalmente, em solos tropicais, essa razão é inferior a 1 devido à menor intensidade do processo de humificação, ou seja, condensação e síntese, atribuídas à intensa mineralização dos resíduos orgânicos, às restrições edáficas e ao baixo conteúdo de bases trocáveis, restringindo a atividade biológica nos solos mais intemperizados (CANELLAS et al., 2002).

A maior presença da fração humina pode ter ocorrido devido os ácidos húmicos e fúlvicos apresentarem menor estabilidade, podendo ter sido polimerizadas ou mineralizadas, e ter diminuído seu teor residual no solo (FONTANA et al, 2006). Contudo, a diminuição das frações huminas, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos decorrente da mudança da vegetação natural para outros usos, também foi observada por Longo e Espíndola (2000), que estudaram a influência da pastagem nas frações húmicas de Latossolos distróficos sob floresta Amazônica, evidenciando o efeito do manejo sobre o teor e sobre a distribuição dos componentes orgânicos em solos tropicais.

Maiores valores de carbono na fração C-humina, na maioria das vezes implicam numa maior expressão das propriedades da fração coloidal da matéria orgânica, destacando a maior retenção de cátions, características de grande importância para os solos tropicais (SOUZA; MELO, 2003).

Quanto à fração C solúvel em água ocorreu diferença significativa apenas no seringal plantado há 5 anos, na profundidade de 21-40 cm. O baixo teor de C solúvel em água pode significar dificuldade no ataque inicial por parte das enzimas produzidas pelos microrganismos, refletindo o estágio inicial de degradação dos resíduos orgânicos incorporados ao solo, em que materiais insolúveis sofrem hidrólise, dando origem a intermediários solúveis em água, como aminoácidos, mono e dissacarídeos, entre muitos outros (SOUZA; MELLO, 2003).

**TABELA 7** - Carbono solúvel em água, ácido fúlvico, ácido húmico, C - humina e N - humina, em um Latossolo Amarelo distrófico típico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm, 11-20 cm e 21-40 cm, Manaus-AM, 2012.

Prof, cm	Seringais					Floresta Primária
	5 anos	18 anos	19 anos	20 anos	44 anos	
C – Humina (mg kg <sup>-1</sup> )						
0-10	10,44 Ae	23,73 Ab	21,78 Ac	16,99 Ad	18,29 Ad	36,39 Aa
11-20	11,88 Ab	12,44 Bb	20,79 Aa	8,50 Bc	14,14 Bb	18,54 Ba
21-40	10,04 Aa	8,52 Cb	7,83 Bb	5,82 Cb	11,71 Ba	12,04 Ca
CV%	12,50					
N – Humina (mg kg <sup>-1</sup> )						
0-10	1,71 Bc	1,37 Ad	1,33 Bd	2,36 Ab	1,86 Ac	3,56 Aa
11-20	2,27 Ab	1,80 Ac	1,80 Ac	1,79 Bc	1,60 Bc	2,54 Ba
21-40	1,88 Ba	1,41 Bb	1,61 Aa	1,61 Ba	1,50 Bb	1,71 Ca
CV%	10,59					
Ácidos Fúlvicos (mg kg <sup>-1</sup> )						
0-10	3,00 Ac	2,31 Ad	3,07 Ac	3,30 Ab	2,43 Ad	4,27 Aa
11-20	3,05 Ab	2,56 Ab	2,25 Ab	3,07 Ab	2,80 Ab	3,77 Aa
21-40	2,17 Ba	1,64 Bb	2,77 Aa	2,54 Aa	2,58 Aa	2,41 Ba
CV%	19,29					
Ácidos Húmicos (mg kg <sup>-1</sup> )						
0-10	0,95 Ab	0,99 Ab	1,21 Aa	1,07 Ab	0,83 Ab	1,32 Aa
11-20	0,73 Ba	0,72 Ba	0,76 Ba	0,72 Ba	0,73 Aa	0,86 Ba
21-40	0,79 Ba	0,71 Ba	0,61 Ba	0,63 Ba	0,67 Aa	0,65 Ca
CV%	16,05					
Carbono solúvel em água (mg kg <sup>-1</sup> )						
0-10	0,81 Ba	0,79 Aa	0,27 Aa	0,69 Aa	0,73 Aa	0,84 Aa
11-20	0,79 Ba	0,78 Aa	0,15 Aa	0,52 Aa	0,72 Aa	0,82 Aa
21-40	3,04 Aa	0,80 Ab	0,82 Ab	0,49 Ab	0,73 Ab	0,75 Ab
CV%	141,45					

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na mesma linha e médias seguidas por letras distintas maiúsculas na mesma coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.

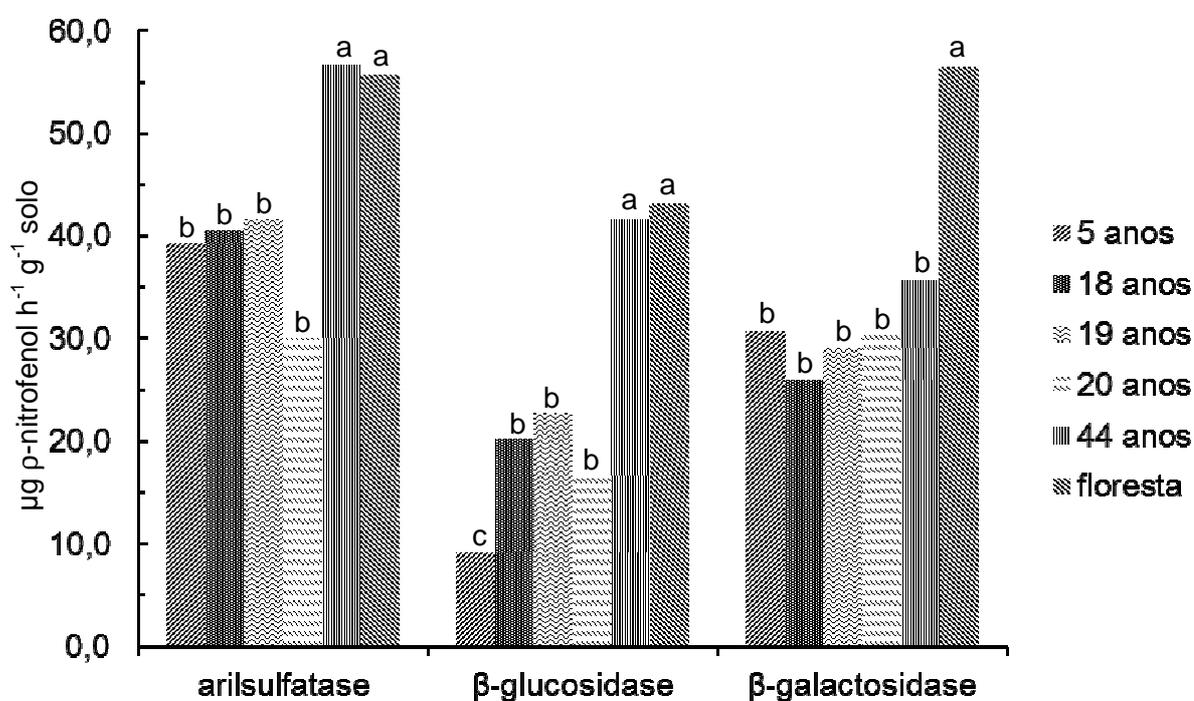
### 5.5. Atividade enzimática do solo

Na Figura 7, observou-se que a floresta primária apresentou maior atividade da enzima arilsulfatase,  $\beta$ -glucosidase e  $\beta$ -galactosidase que os seringais, sendo que a atividade das enzimas arilsulfatase e  $\beta$ -glucosidase o seringal de 44 anos apresentou-se semelhante ( $p \leq 0,05$ ). Esse resultado está diretamente relacionado ao maior conteúdo de matéria orgânica e devido, principalmente, a maior necessidade da floresta em manter o equilíbrio dentro da ciclagem de nutrientes por apresentar maior número de plantas por área, o que não ocorre com seringais plantados, normalmente, em espaçamento 7,0 m x 3,0 m. Essas enzimas atuam na degradação de carboidratos do solo, sendo a  $\beta$ -glucosidase responsável pela hidrólise de maltose e celubiose e a  $\beta$ -galactosidase pela hidrólise de melibiose e lactose (EIVAZI; TABATABAI, 1988).

Os maiores valores da atividade da arilsulfatase foram verificados na floresta primária e no seringal instalado há 44 anos (Figura 7). Esses valores foram, na média, 48,0% e 51,0%, respectivamente, superiores aos outros plantios, evidenciando a importância da ciclagem do enxofre orgânico, principalmente segundo nesses solos que apresentam baixos teores de S disponível ( $22,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ) (MOREIRA; MALAVOLTA, 2002).

A enzima  $\beta$ -glucosidase apresenta natureza relacionada ao ciclo do carbono (PASSOS et al., 2008) e a enzima arilsulfatase está envolvida na mineralização de compostos de enxofre (S), detectada em plantas, animais, microorganismos e solos, sintetizadas por microorganismos, podendo ser controlada pelo conteúdo C e S do sistema, sendo encontrada em maior quantidade sob floresta nativa (GERMIDA et al., 1992; TABATABAI, 1994; DICK, 1997; PINTO; NAHAS, 2002), Sendo assim, o

seringal de 44 anos, na atividade dessas duas enzimas, não diferiu da floresta primária, apresentando a mesma eficiência na ciclagem do carbono e do enxofre que floresta primária, no caso da atividade arilsulfatase, um exemplo, seria relacionada ao pode de deslocar ou reduzir sulfato de adsorção para os colóides do solo pelo fosfato, sendo que atividade da enzima pode estar associada deficiência S devido a um possível teor de P elevado em algumas áreas.



**FIGURA 7 -** Atividade enzimática de um Latossolo Amarelo distrófico sob floresta primária e seringais com diferentes idades, na profundidade de 0-10 cm. Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott.

## 6. CONCLUSÕES

A sucessão da floresta primária por seringal pouco alterou a fertilidade do solo.

Apesar de a seringueira ser uma planta nativa da região Amazônica e vegetar bem em solos com baixa fertilidade natural, a sucessão com a floresta primária, independentemente da idade do seringal, reduzem nessas condições edafoclimáticas, significativamente o teor da matéria orgânica, do carbono da biomassa microbiana do solo e do nitrogênio total.

A sucessão floresta primária para seringais causou o aumento do nitrogênio da biomassa microbiana, o quociente metabólico e as respirações basal e induzida e conseqüentemente aumento da atividade microbiana.

Após o décimo oitavo ano de idade do seringal há recuperação de mais da metade do teor de matéria orgânica do solo.

A sucessão floresta primária para seringais causou diminuição na atividade das enzimas arilsulfatase,  $\beta$ -glucosidase e  $\beta$ -galactosidase, contudo na enzimas arilsulfatase e  $\beta$ -glucosidase no seringal de 44 anos isso não ocorreu, apresentando mesma eficiência na ciclagem do C e S que a floresta primária.

## 7. REFERÊNCIAS

AGNELLI, A.; UGOLINI, F.C.; CORTI, G.; PIETRAMELLARA, G. "Microbial biomass-C and basal respiration of fine earth and highly altered rock fragments of two forest soils". **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, p. 613-620, 2001.

ALFAIA, S.; MURAOKA, T. Efeito residual de calagem e micronutrientes e Latossolo Amarelo sob rotação de culturas. *Acta Amazonica*, v.27, n.3, p.153-162, 1997.

ALFAIA, S.S.; UGUEN, K.; RODRIGUES, M.R.L.; Manejo da fertilidade dos solos na Amazônia. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Eds.) **Biodiversidade dos solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras: Editora Lavras, 2008, v.2, p. 117-141.

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic, 1995, p. 464-470.

ALVARENGA, M.I.N.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, 1999, v. 23, n. 3, p. 617-625.

ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F. de S. **Sequestro de carbono quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa, 2006, 352p.

ALVAREZ VENEGAS, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p. 25-32.

AMADO, T.J.C.; LOVATO, T.; SPAGNOLL, E. Potencial de sistemas de manejo no seqüestro de carbono. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** UNESP, Ribeirão Preto, 2003 (CD-ROM).

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.10, p. 215-221, 1978.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 393-395, 1993.

AMAZONAS. Governo do Estado. **A floresta amazônica e seu papel nas mudanças climáticas**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Manaus: SDS/CECLIMA, 2009, 36p. (Série Técnica Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, n. 18).

APABOR. **Borracha via e-mail**. Associação Paulista de Produtores e Beneficadores de Borracha Natural, v. 4, n. 149, 2003.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

BALDOCK, J.A.; NELSON, P.N. Soil Organic Matter. In: SUMNER, M. (Ed.). **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 1999, p. B25-B84.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 641-650, 1998.

BANDICK, A.K.; DICK, R.P. Field management effects on soil enzymes activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 1471-1479, 1999.

BONNEAU, X.; OCHS, R.; KITU, W.T.; YUSWOHADI. Chlorine: an essential element in the mineral nutrition of hybrid coconuts in Lampung (Indonesia). **Oleagineux**, Paris, v. 48, n. 4, p. 179-190, 1993.

BATAGLIA, O.C.; CARDOSO, M.; CARRETERO, M.V. Situação nutricional de seringueiras produtivas no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 47, n. 1, p. 109-123, 1988.

BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R.; IGUE, T.; GONÇALVES, P.S. Resposta da seringueira clone RRIM 600 à adubação NPK em solo Podzólico Vermelho Amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 57, p. 367-377, 1998.

BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R.; GONÇALVES, P.S.; SEGNINI JUNIOR, I.; CARDOSO, M. Efeito da adubação NPK sobre o período de imaturidade da seringueira. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 363-374, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed., Porto Alegre: Metrópole, 2008, cap. 2, p. 7-18.

BENITES, V.M.; MENDONÇA, E.S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 215-221, 1998.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 888-896, 2002.

BI, T.T.; OMONT, H. Etude des sols de parcelles d'hevéa em basse Cote-d'Ivoire. **Caoutchoucs et Plastiques**, Paris, 1987, v. 64, p. 111-116,.

BOLONHEZI, D.; LA ESCALA, N.; MUTTON, M.A.; PAÑOSO, A.R.; GENTILIN, O. Fluxo de CO<sub>2</sub> do solo nos preparos convencional, cultivo mínimo e plantio direto em áreas de colheita de cana crua. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Cartagena, Colômbia. **Anais...** Bogotá, SCCS, 2004 (CD-ROM).

BONDE, T.A.; SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, p. 447-452, 1988.

BOTKIN, D.B.; SIMPSON, L.G.; NISBET, R.A. Biomass and carbono storage of the North American deciduous forest. **Biogeochemistry**, Holanda, v. 20, p. 1-7, 1993.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 7.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989, 878p.

BRANDÃO-JUNIOR, O.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; ESPINDOLA, C.R. Comparação ente os métodos de fumigação-extração e fumigação-incubação para determinação do carbono da biomassa microbiana em um latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1911-1919, 2008.

BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965, p. 1149-1178.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, n 2/3, p. 269-279, 1995.

CAETANO, A. de C. **Efeitos do manejo florestal sobre os atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo e um argissolo amarelo de textura médias na fazenda experimental da Gethal**. Amazonas. Dissertação de Mestrado. Universidade do Amazonas, 2000, 56p.

CALDWELL, B.A.; GRIFFITHS, R.P.; SOLLINS, P. Soil enzyme response to vegetation disturbance in two lowland Costa Rican soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 1603–1608, 1999.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPA, A.E.. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; GURIDI, F.; OLIVARES, F.L.; SANTOS, G.A.; BRAZFILHO, R. Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of Eucalyptus and sugar cane. *Terra Latinoamericana*, v. 20, p. 371-381, 2002.

CANTARELA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007, p. 375-449.

CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. de; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS/UFV, 2007, p. 769-872.

CARDOSO, M. O. Métodos para quantificação da biomassa microbiana do solo. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 25, p. 1-12, 2004.

CARMO, C.A.F.S.; CUNHA, T.J.F.; GARCIA, N.C.P.; CALDERANO FILHO, B.; CONCEIÇÃO, M.; MENEGUELLI, N.A.; BLANCANEUX, P. **Influência de atributos químicos e físicos do solo no desenvolvimento da seringueira na região da Zona da Mata de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 23p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa; n.10).

CARMO, C.A.F.S.; MENEGUELLI, N.A.; LIMA, J.A.S.; EIRA, P.A.; CUNHA, T.J.F. Avaliação do estado nutricional de seringueiras implantadas na região da Zona da Mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.10, p 1437-1444, 2002.

CARMO, C.A.F.S.; MENEGUELLI, N.A.; LIMA, J.A.S.; MOTTA, P.E.F.; ALVARENGA, A.P. **Estimativa do estoque de carbono na biomassa do clone de seringueira RRIM 600 em solos da Zona da Mata – Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 19p. (Boletim de Pesquisa e desenvolvimento, 28).

CARMO, C.A.F.S.; LUMBRERAS, J.F.; NAIME, U.J.; GONÇALVES, A.O.; FIDALGO, E.C.C.; ÁGLIO, M.L.D.; LIMA, J.A.S. **Aspectos culturais e zoneamento da seringueira no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004, 49p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e desenvolvimento: n. 60).

CARMO, C.A.F.S.; OLIVEIRA, A.B.; CRUZ, B.R.; MARTELLELO, L.A.P.; SCOMPARIN, C. Cenário da produção e consumo de borracha natural. In: OLIVEIRA, A.B.; CARMO, C.A.F.S.; CRUZ, B.R. (Eds.) **A cultura da seringueira no Estado do Rio de Janeiro: perspectivas e recomendações técnicas**. Niterói, RJ, 2009, p. 13-26.

CARVALHO, A.F. **Caracterização física, química e mineralógica dos solos do Município de Humaitá – AM**. 1986. 166p. Tese (Livre docência) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita, Botucatu.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C. Carbon stocks in soils of the Brazilian Amazon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLET, R.; STEWART, B.A. **Global climate change and tropical ecosystems**. Advances in Soil Science, CRC Press, Boca Raton, 1999, p. 33-50.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J. L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. In: ALVAREZ VENEGAS, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS/UFV, 1996. 930p.

CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica em solo de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 1989, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Universidade de São Paulo, p.135-147, 1989.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.

CHAVES, L.H.G.; TITO, G.A.; CHAVES, I.B.; LUNA, J.G.; SILVA, P.C.M. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 431-437, 2004.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005, 785 p.

CONCEIÇÃO, P.C. **Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, Março, 2006. Tese de doutorado.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

CORREA, S.M.B.B. Probabilidade e estatística. 2.ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003, 116p.

CORREIA, J.R.; REATTO, A.; SPERA, S.T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. cap. 1, p. 29-62.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D.M.G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

CRAVO, M.S.; SMYTH, T.J. Manejo sustentado da fertilidade de um latossolo da Amazônia central sob cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 607-616, 1997.

CUNHA, T.J.F.; BLANCANEUX, P.; CALDERANO FILHO, B.; CARMO, C, A. F. S.; GARCIA, N.C.P.; LIMA, E.M.B. Influência da diferenciação pedológica no desenvolvimento da seringueira no município de Oratórios, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 145-155, 2000.

DALAL, R.C. Soil microbial biomass – what do the numbers really mean? **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 38, p. 649-665, 1998.

DAVIDSON, E.A.; ARTAXO, P. "Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: Results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment." **Global Change Biology**, Estados Unidos, v. 10, p. 1-11, 2004.

DEMATTE, J.L.I. **Manejos de solos ácidos dos trópicos úmidos – Região Amazônica**. Campinas: Fundação Cargill. 1988, 215p.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed., Porto Alegre: Metrópole, 2008, cap.17, p. 263-276.

DIAS; L. E. GRIFFITH, J. J. **Recuperação de solos em sistemas agropastoris – Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV. Departamento de solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998, 251p.

DICK, R.P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R. (Eds.). **Biological indicators of soil health**. Wallingford, CAB International, 1997, p. 121-156.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWARD, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 3-21. (SSSA. Special Publication, 35).

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; JANKE, R. Strategies to promote soil quality and health. In: PANKHURST, C.E.; DOUBLE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (Eds.). **Soil Biota: Management in sustainable farming systems**. Commonwealth Scientific Industrial Research Organization:CSIRO, Victoria, Austrália, p. 230–237, 1994.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 56, p. 2-54, 1996.

DORAN, J.W. Soil Quality and Sustainability. In: **Comissão do “V Inventory, Genesis, Morphology and Classification of Soils”**, 1997, XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, RJ.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M.A. Glucosidades and galactosidades in soils. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 20, p. 601-606, 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 2006. 306p.

ERNANI P.R.; ALMEIDA J.A.; SANTOS F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS/UFV, 2007, p. 551-594.

FAGERIA, N.K. Soil quality vs. Environmentally-based agricultural management practices. **Communications in soil science and plant analyses**, New York, v. 33, n. 13/14, p. 2301-2329, 2002.

FASSBENDER, H.W. **Modelos edafológicos de sistemas agroforestales**. Turrialba, CATIE, 1993, 491p.

FEIGL, B.J.; SPARLING, G.P.; ROSS, D.J.; CERRI, C.C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 1467-1472, 1995.

FERNANDES, E.C.M.; BIOT, Y.; CASTILLA, C.; CANTO, A.C.; MATOS, J.C.; SOUSA, S.G. de; PERIN, R., WANDELLI, E. The impact of selective logging and forest conversion for subsistence agriculture and pastures terrestrial nutriente dynamics in the Amazon. **Ciência e Cultura**: Campinas, v. 49, n. 1/2, p. 34-47, 1997.

FERNANDES, S.A.P. **Propriedades do solo na conversão de floresta em pastagem fertilizada e não fertilizada com fósforo na Amazônia (Rondônia)**. 1999. 131p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, D.C.; SARRAZIN, M.; DESJARDINS, T. Modificações a curto prazo nos teores de carbono e nitrogênio do solo (após corte seletivo da floresta na Amazônia Central). In: Projeto BIONTE: **Biomassa e nutrientes florestais** – Relatório final. Manaus, MCT/INPA, 1997. p. 199-206.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.

GALLARDO, A.; SCHLESINGER, W.H. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation-extraction methods in a warm-temperate forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, n. 7, p. 927-932, 1990.

GAMA, J.R.N.F. **Solos: Manejo e interpretação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004, 183p.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 393-901, 2005.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 361-366, 1997.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed., Porto Alegre, Metrópole, 2008, p. 159-170.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, p. 427-432, 1994.

GASPAROTTO, L.; SANTOS, A.F. dos; PEREIRA, J.C.R.; FERREIRA, F.A. **Doenças da seringueira no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-SPI/Manaus: EMBRAPA-CPAA, 1997, 168 p.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986, p. 383-411.

GERMIDA, J.J.; WAINWRIGHT, M.; GUPTA, V.V.S.R. Biochemistry of sulfur cycling in soil. In: STOTZKY, G.; BOLLAG, J.M. (Eds.). **Soil biochemistry**. New York, Marcel Dekker, v. 7, p. 1-53, 1992.

GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 55-60, 1995.

GLOBAL FOREST RESOURCES ASSESSMENT - GFRA. (2005). **Progress towards sustainable forest management**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

HART, S.C.; STARK, J.M.; DAVIDSON, E.A. & FIRESTONE, M.K. Nitrogen mineralization, immobilization and nitrification. In: WEAVER, R.W.; AUGLE, S.; BOTTOMLY, P.J.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Eds.). **Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties**. Madison, SSSA, p.985-1018, 1994.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J. do; RIBEIRO, R.J.; PINTO, A.C.M.; SILVA, R.P. da; M ROCHA, R.M.; TRIBUZY, E.S. Dinâmica e Balanço do Carbono da Vegetação Primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, Curitiba:UFPA, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v. 25, 2010, 50p.

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

ISSAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford: University Press, 1989. 561 p.

JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. Classificação pedológica nacional em vigor. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, 1996, p. 675-688.

JACOVINE, L.A.G.; FERNANDES, T.J.G.; SOARES, C.P.B.; SILVA, M.L.; ALVARENGA, A.P. A heveicultura e a geração dos certificados de emissões reduzidas. In: ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F. de S. (Eds.). **Sequestro de carbono quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa, MG, 2006, p. 315-338.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. 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. 415-471.

JOHNSON, C.M.; VIEIRA, I.C.G.; ZARIN, D.J.; FRIZANO, J.; JOHNSON, A.H. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazônia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 147, p. 245-252, 2001.

JORDAN, C.F. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: principles and their application in management and conservation. **John Wiley & Sons**. New York. 190p. 1985.

KARTHIKAKUTTYAMA, M.; SURESH, P.R.; PRASANNAKUMARI, P.; GEORGE, V.; AIYER, R.S. Effect of continuous cultivation of rubber (*Hevea brasiliensis*) on morphological features and organic carbon, total nitrogen, phosphorus and potassium. **Indian Journal of Natural Rubber Research**, v. 11, n. 1-2, p. 73-79, 1998.

KASS, D.C.L. **Fertilidad de Suelos**. San José, Costa Rica: EUNED, 1996, 272 p.

KELL, M.; PALACE, M.; HURTT, G. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: examination of sampling and allometric uncertainties. **Forest Ecology and Management**, v. 154, n. 3, p. 371-382, 2001.

KERTESZ, M.A.; MIRLEAU, P. The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 1939-1945, 2004.

KINDEL, A.; CARMO, C.A.F.S.; LIMA, J.A.S.; SIMÕES, B.; ALVARENGA, A.P.; PÉREZ, D.V. Ciclagem de nutrientes e estoques de carbono na serrapilheira de seringueira e fragmentos da Mata Atlântica. In: ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F. de S. (Eds.). **Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. UFV, Viçosa, p.135-158. 2006.

KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A litter production in an area of amazonian terra firme forest I-Litter, organic carbon, total nitrogen. **Amazoniana**, Manaus, v.1, n.4, p.287-302, 1968.

KONONOVA, M.M. **Matéria orgânica del suelo; su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikos - Tau, 1982. 365p.

LAL, R.L. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Tradução e adaptação de MEDUNGO, CC e DYNIA, J.F. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999, 97p.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America (Special Publication, 35), 1994. p. 37-51.

LONGO R.M.; SPÍNDOLA, C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 723-729, 2000.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Revista Ciência e Cultura** (SBPC), v. 59, p. 31-36, 2007.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MAGAT, S.S.; PADRONES, G.D.; ALFORJA, L.M. Residual effects of three chloride fertilizers on yield and leaf nutrient levels of coconuts grown on an inland soil of Davao (Mindanao, Philippines). **Oleagineux**, Paris, v. 48, n. 5, p. 237-242, 1993.

MALAVOLTA, E. Fertilidade dos solos da Amazônia. In: VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. (Eds.) **Amazônia; seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987, p. 374-416.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solos de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London, Academic Press Inc., 1995. 889p.

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

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 425-433, 2003.

MENDES, L.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES A.C. Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantios convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2003, v. 16, p. 31-37.

MERCANTE, F.M.; FABRICIO, A.C.; MACHADO, L.A.Z.; SILVA, W.M. **Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo sob sistema integrados de produção agropecuária**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2004, 27p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 20).

MERCANTE, F.M.; FRANCELINO, C.S.F.; OTSUBO, I.M.N.; CAVALHEIRO, J.C.T.; SILVA JUNIOR, A. Atributos microbiológicos avaliados em cultivo de mandioca sob diferentes coberturas de solo. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, **Anais...**, Campo Grande, 2005.

MERTZ, O. The relationship between length of fallow and crop yields in shifting cultivation: a rethinking. **Agroforestry Systems**, v. 55, p. 149-159, 2002.

MICHEL, K.; MARITXU, G.; RENÉ, B.J.; REVEL, J.C. Influencia de las substancias húmicas sobre las características bio-físico-químicas de los suelos. Consecuencias sobre la nutrición mineral de las plantas. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Conferencias**. Águas de Lindóia, Embrapa, 1996 (CD-ROM).

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed., Porto Alegre: Metrópole, 2008, cap.1, p.1-5.

MILLER, M.; DICK, R.P. Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crop rotations. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, n. 27, p. 1161-1166, 1995.

MONTEIRO, M.T.; GAMA-RODRIGUES, E.F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 819-826, 2004.

MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pastures installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.70, n.1, p. 63-81, 1996.

MORAES, V.H.F.; MORAES, L.A.C. Desempenho de clones de copa de seringueira resistentes ao mal-das-folhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n. 11, p.1495-1500, 2008.

MORAES, V.H.F.; MORAES, L.A.C.; MOREIRA, A. **Cultivo da seringueira com copas enxertadas resistentes ao mal-das-folhas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. 44p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 63).

MORAES, V.H.F.; MOREIRA, A. **Potencial de contribuição da cultura da seringueira para a conservação do ambiente no trópico úmido**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 2003. 18p.

MOREIRA, A.; ALMEIDA, M.P.; COSTA, D.G.; SANTOS, L.C. Acidez potencial pelo método do pH SMP no Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.1, p.89-92, 2004.

MOREIRA, A.; COSTA, D.G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.1013-1020, 2004.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K. Changes in Soil Properties under Two Different Management Systems in the Western Amazon, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 42, n.21, p. 2666-2681, 2011.

MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C.; FAGERIA, N.K. Potential of Rubber Plantations for Environmental Conservation in Amazon Region. **Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability**, New York, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2009.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistema da Amazônia Ocidental (Amazonas)**. Piracicaba: USP/CENA, 2002. 79p.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1103-1100, 2004.

MOREIRA, F.M.S ; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Editora UFLA, Lavras, 2002, 626p.

MURBACH M.R.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; SOUZA, E.C.A. Nutrient cycling in a RRIM 600 clone rubber plantation. Piracicaba, SP. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 2003, v. 60, n. 2, p. 353-357, abr./jun.

NASCIMENTO, C.; HOMMA, A. **Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola**. Belém: Embrapa-CPATU, 1984. 282p.

NDAW, S.M. **Diversidade, biomassa e atividade microbiana como indicadores da qualidade do solo e da serapilheira, em sítios sob diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense**. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2003, 89p. (Tese de Mestrado).

NEU, V. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus, Amazônia**. Piracicaba:ESALQ, 2005, 93p. (Dissertação de Mestrado-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz).

NICOLODI, M. Desafios à caracterização de solo fértil em química do solo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., Passo Fundo, 2006. **Anais...** Passo Fundo, Embrapa, 2006 (CD-ROM).

NIELSEN, M.N.; WINDING, A. Microorganisms as indicators of soil health. **National Environmental Reserch Institute**, Denmark, 2002, 84p. (Technical Report, 388).

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ VENEGAS, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007, p. 133-170.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007, p. 471-550.

OCIO, J.A.; BROOKES, P.C. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheatstraw and characterization of the biomass that develops. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.22, p.685-694, 1990.

PASSOS, S.R.; REIS JUNIOR, F.B.; RUMJANEK, N.G.; MENDES, I.C.; BAPTISTA, M. J.; XAVIER, G.R. Atividade enzimática e perfil da comunidade bacteriana em solo submetido à solarização e biofumigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 879-885, 2008.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**, California: Academic Press, 1989. 275p.

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 agrosystems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.11, p.53-65, 1999.

PEREIRA, A.V. Avaliação preliminar do desempenho de clones de seringueira (*Hevea spp.*) no Estado de Goiás e no Distrito Federal. 1997. 98p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: Fealq, 2002, 309p.

PINTO, C.R.O.; NAHAS, E. Atividade e população microbiana envolvida nas transformações do enxofre em solos com diferentes vegetações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1751-56, 2002.

PLACIDO JÚNIOR, C.G. **Distribuição e Caracterização da Fertilidade Química dos solos do Estado do Amazonas** (Dissertação de Mestrado), 52 p., 2007.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Nutrient cycling in native forests. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 285-306.

PORTUGAL, A.F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C.E.G.R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, 2008.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

REGANOLD, J.P.; PALMER, A.S. Significance of gravimetric versus volumetric measurements of soil quality under biodynamic, conventional and continuous grass management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 50, n. 3, p. 298-305, 1995.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990, p. 265-302.

RENGASAMY, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brown earths. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.34, n.3, p.723-732, 1983.

RESENDE, M; CURI, N.; REZENDE, S.B; CORREA, G.F. **Pedologia Base para distinção de ambientes**. 4.ed., Viçosa, MG: NEPUT, 2002, 338p.

RIBEIRO JUNIOR, P.J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995, 99p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RIOS, L.C.; CONCEIÇÃO, M. PÉREZ, D.V.; ARAÚJO, W.S. Estoque de carbono e caracterização de substâncias húmicas em solos sob seringais e vegetação natural. In: ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F. de S. (Eds.). **Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. UFV, Viçosa, 2006, p. 135-158.

RODRIGO, L.; MUNASINGHE, E. **Rubber tree should not only be for latex but for carbon trading too!** Disponível em: <<http://www.sundaytimes.lk/110710/BusinessTimes/bt08.html>> Acesso em 20 dez de 2011.

ROTH, C.H.; WILCZYNSKI, W.; CASTRO FILHO, C. Effect of tillage and liming on organic matter composition in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 55, p. 175-179, 1992.

SALOMÃO, R.P.; NEPSTAD, D.C.; VIEIRA, I.C.G. Biomassa e estoque de carbono de florestas tropicais primárias e secundárias. In: GASCON, C.; MOUTINHO, P. (eds). **Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo**. Manaus: INPA, 1998. 373p.

SAMPAIO, D.B.; ARAUJO, A.S.F.; SANTOS, V.B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras: UFLA, MG, v.32, n.2, p.353-359, 2008.

SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E.; VILLACHICA, J.H.; NICHOLAIDES, J.J. Amazon basin soils: management for continuous crop production. **Science**, Washington, 1982, v. 216, n. 4548, p. 821-827.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P. ; LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison. Soil Science Society of America, 1982, p.581-594.

SCHUBART, H.O.R.; LUIZÃO, F.J. Uma floresta sobre solos pobres. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 2, n.10, p. 26-32, 1984.

SERINGUEIRA. Crise aberta e preços mundiais despencam. In: NEHMI, I.M.D. et al. (Eds.) **AGRIANUAL 99**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 1999. p. 438-447.

SERINGUEIRA. Preços baixos reduzem atividades. In: NEHMI, I.M.D. et al. (Eds.) **AGRIANUAL 2000**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2000. p. 464-472.

SERINGUEIRA. In: NEHMI, I.M.D. et al. (Eds.) **AGRIANUAL 2010**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2010, p. 448-452.

SEVERINO, L.S.; COSTA, F.X.; BELTRÃO, N.E.M.; LUCENA, A.M.A.; GUIMARÃES, M.M.B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande-PB, v. 5, n. 1, jan/jul, 2004.

SEYBOLD, C.A., MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L.; ROGERS, H.H. Quantification of soil quality. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Soil processes and the carbon cycle**. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 1997, p. 387-404.

SILVA, G.R. da; SILVA JÚNIOR, M.L. da; MELO, V.S. de. Efeito sobre diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo do estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 36, n.2, p. 151-158, 2006.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007, p. 275-356.

SILVA, S.B. de. **Análise de solos**. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia. Serviço de Documentação e Informação, 2003. 152 p.

SIMÕES, S.M.O.; ZILLI, J.E.; COSTA, M.C.G.; TONINI, H.; BALIEIRO, F.C. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acacia mangium* no Cerrado de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 23-30, 2010.

SIOLI, H. **Amazônia. Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. 3 ed., Petrópolis: Vozes, 1991, 72 p.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental.** Brasília: EMBRAPA CNPAF. (Documentos, 45), 1994, 142p.

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M.; STOTZKY, G. (Eds.). **Soil Biochemistry.** New York: Marcel Dekker, 1990, p. 357-396.

SHORROCKS, V.M. Mineral nutrition, growth and nutrients cycle of *Hevea brasiliensis* I. Growth and nutrient content. **Journal of the Rubber Research Institute of Malaya**, Malásia, v. 19, p. 32-42, 1965.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, July/Sept., 2006.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 1113-1122, 2003.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 195-207, 1992.

SWAMY, H.R.; PROCTOR, J. Litterfall and nutrient cycling in four rain forests in the Sringeri area of the Indian Western Ghats. **Global Ecology and Biogeography Letters**, Osney Mead, v. 4, p. 155-165, 1994.

SUBBARO, G.V.; ITO, O.; BERRY, W.L.; WHEELER, R.M. Sodium – A functional plant nutrient. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, p. 391-416, 2003.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P.J. (Eds.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties.** Madison. Soil Science Society of America, 1994, p. 778-835.

TELLES, E.D.C.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A.; TRUMBORE, S.E.; COSTA, E.S.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, R.C. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 17, n. 2, 2003.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (eds). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii, NIFTAL Project, 1989, p. 5-32.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., (eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, p. 195-276.

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1173-1184, 2007.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 411-417, 1998.

VICTORIA, R. L.; PICCOLO, M.C.; VARGAS, A.A.T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Eds.). **Microbiologia do Solo**. Campinas: CBCS, 1992, p.41- 58.

VIÉGAS, I.J.M.; CARVALHO, J.G.; FRAZÃO, D.A.C. Desordens nutricionais na cultura da seringueira: critérios de diagnose para solo e plantas e correção de deficiência. In: VIÉGAS, I.J.M.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Seringueira: nutrição e adubação no Brasil**. Brasília:Embrapa-SCT, 2000, p. 123-173.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. **Amazônia; seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Editora Ceres, 1987, 416p.

VIEIRA, L.S. **Manual de ciência do solo**. Editora Agronômica Ceres. Piracicaba, SP, 1988, 384p.

VIEIRA, L.S; GAMA, J.R.N.F. Solos e plantio de seringueira. In: VIÉGAS, I.J.M.; CARVALHO, J.G. **Seringueira. Nutrição e adubação no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia; Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, p. 63-76.

WADT, P. G. S. Minerais da fração argila de relevância para os solos do Estado do Acre. In: WADT, P. G. S. (Ed.). **Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre**. 1 ed. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005, p. 63-92.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. **Soil Science**, v. 37, n. 29-37, 1934.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Eds.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-CNPAP; Embrapa-CNPSO, 1994, p. 419- 436.

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