



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

**Embrapa**  
*Amazônia Oriental*

**JAMIL CHAAR EL-HUSNY**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO  
AMARELO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO  
MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, ESTADO DO PARÁ.**

**BELÉM  
2010**



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

**Embrapa**  
*Amazônia Oriental*

**JAMIL CHAAR EL-HUSNY**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO AMARELO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, ESTADO DO PARÁ.**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Claudio José Reis de Carvalho.

**BELÉM  
2010**

---

EL-HUSNY, Jamil Chaar

Avaliação de indicadores de qualidade de um latossolo amarelo, textura muito argilosa, em sistemas de integração lavoura-pecuária no município de Paragominas, Estado do Pará. / Jamil Chaar El-Husny. – Belém, 2010.

228f.: Il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2010.

1. Solo - Qualidade - Amazônia. 2. Integração lavoura-pecuária. 3. Fertilidade do solo. 4. Bioquímica do solo. 5. Biologia do Solo. 6. Paragominas - Pará - Amazônia. I. Título.

CDD: 631.409811

---



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

**Embrapa**  
*Amazônia Oriental*

**JAMIL CHAAR EL-HUSNY**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO AMARELO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS, ESTADO DO PARÁ.**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

Aprovado em 15 de janeiro de 2010.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Claudio José Reis de Carvalho - Orientador  
Embrapa Amazônia Oriental - EMBRAPA

---

Dr. Eduardo Jorge Maklouf Carvalho  
Embrapa Amazônia Oriental - EMBRAPA

---

Prof. Dr. Ismael de Jesus Matos Viégas  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

---

Prof. Dr. Steel Silva Vasconcelos  
Embrapa Amazônia Oriental - EMBRAPA

---

Prof. Dr. Benedito Gomes Santos Filho  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

**7 “Pedi e se vos dará. Buscai e achareis. Batei e vos será aberto.  
8 Porque todo aquele que pede, recebe. Quem busca, acha. A quem bate, abrir-se-á. 9 Quem dentre vós dará pedra a seu filho, se este lhe pedir pão? 10 E, se lhe pedir peixe, dar-lhe-á uma serpente? 11 Se vós, pois, que sois maus, sabeis dar boas coisas a vossos filhos, quanto mais vosso Pai celeste dará boas coisas aos que lhe pedirem.  
12” Tudo o que quereis que os homens vos façam, fazei-o vós a eles. Esta é a lei e os profetas.**

*(Mateus 7, 7-12)*

## SALMO 22

*“O Senhor é meu pastor, nada me faltará. Em verdes prados ele me faz repousar. Conduz-me junto às águas refrescantes, restaura as forças de minha alma. Pelos caminhos retos ele me leva, por amor do seu nome. Ainda que atravesse o vale escuro, nada temerei, pois estais comigo. Vosso bordão e vosso báculo são meu amparo. Preparais para mim a mesa à vista de meus inimigos. Derramais o perfume sobre minha cabeça e transborda minha taça. A vossa bondade e misericórdia hão de seguir-me por todos os dias de minha vida. E habitarei na casa do Senhor por longos dias.”*

*(Heb. 23) Salmo de Davi*

## CONSAGRAÇÃO A NOSSA SENHORA DE NAZARÉ

*Senhora de Nazaré, da antiga raiz de Jessé, da casa real de Davi, descendente de São Joaquim e de Sant'Ana, sempre que a angústia, o medo e a solidão me abatem, me entrego em teus braços ó Mãe; como uma criança carente em busca de alívio, carinho e proteção, mergulho em teu Coração Imaculado e consagro a ti, querida Mãe, o meu passado e todas as minhas lembranças, o momento presente e todas as suas aflições, o meu futuro e a vida eterna que Deus me reserva no céu. O Sacramento do Batismo, que um dia recebi, me tornou filho de Deus e filho teu ó Mãe; me fez também herdeiro de Seu Reino. Por isso venho agora renovar, diante de ti, Virgem de Nazaré, as promessas do meu Batismo; e para que eu possa ser fiel a elas até o fim de minha vida, peço a tua intercessão por mim junto ao teu filho Jesus. Doce Senhora de Nazaré, a ti consagro agora, as minhas aspirações, meus projetos, meus sonhos, minha missão, minhas realizações: tudo o que tenho e tudo o que sou; consagro também todos os dias restantes de minha vida terrena, pedindo por eles a tua intercessão e a tua bênção materna, para que sejam dias serenos, cheios de paz e de muitas graças. Quero também te consagrar já, Senhora de Nazaré, o momento de minha morte quando, por tuas mãos e amparado pelos braços de seu esposo São José, poderei finalmente, ver o teu rosto e abraçar teu filho Jesus e contemplar a Glória de Deus Pai, no amor infinito do Espírito Santo. Amém.*

Ofereço e Agradeço, de maneira imensurável,  
Ao meu Pai Chafic Rachid El-Husny (in memorian) e  
A minha Mãe Jamile Char El-Husny (in memorian).

A minha Esposa Auxiliadora e as minhas  
Filhas Jamile, Yasmin e Najla, as mais fortes  
razões da minha perseverança,

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

A **DEUS** pela vida que nos contempla e pela Graça de permitir continuar minha missão nesta vida terrena.

Ao Dr. Claudio José Reis de Carvalho pelas orientações e confiança;

Aos examinadores, Dr. Eduardo Jorge Maklouf Carvalho, Professor Dr. Ismael de Jesus Matos Viegas, Professor Dr. Steel Silva Vasconcelos, Professor Dr. Benedito Gomes Santos Filho, Professr Dr. Francisco de Assis Oliveira e Dr. Austrelino Silveira Filho, pela gentileza de aceitarem o convite para participar da banca de avaliação e pelas sugestões para melhoria deste trabalho.

À Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, pela oportunidade de realização do Curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, pela liberação e oportunidade de realização do curso.

Ao Professor Roberto César Lobo da Costa, Coordenador do Curso de Doutorado UFRA/Embrapa, pela receptividade e compreensão.

Ao Senhor Valírio Luciano de Lucena, Proprietário da Fazenda Nova Paz, pela sensibilidade de conceder sua área para o presente estudo;

Ao Sr. Thales Lima, Proprietário da Fazenda Vitória, pela sensibilidade de conceder sua área para o presente estudo;

Aos Profissionais dos Laboratórios da Embrapa Amazônia Oriental, Ivanildo Trindade, Cléo Marcelo Souza, Maria Teresa dos Santos, Eden Pereira Ferro, Neuza Maria Ferreira, José Antônio Malcher, e as Senhoras Maria Lucidéa Silva Ferro e Helieth Almeida pelo convívio, apoio imensurável e amizade, durante a realização das análises de Laboratório;

Ao Engenheiro Agrônomo Rosemiro de Assis Ribeiro, pela amizade e apoio decisivo nos trabalhos de campo em Paragominas.

Ao Pesquisador Moacir Azevedo Valente, pela amizade e importante apoio nos trabalhos técnicos de campo.

Ao Pesquisador Moisés Cordeiro Mourão de Oliveira Junior, pelo importantíssimo apoio nas análises estatísticas.

A Pesquisadora Sonia Maria Botelho Araújo pela amizade e apoio nas

análises de Laboratório.

Ao Estatístico Eraldo Rodrigues, pelo apoio e consultas estatísticas em momento importante.

Ao Pesquisador José Francisco Pereira pelo apoio em momento importante.

Ao Dr. Ismael Matos da Silva, pela amizade, apoio e consultas.

A Senhora Shyrley Costa Barros pela amizade e solidariedade.

Ao Dr. Jorge Alberto Gazel Yared, pelo apoio e estímulo decisivo no início do Curso.

A Pesquisadora Nilza Araújo Pacheco, pela amizade e exemplo de solidariedade.

Aos meus sogros Eduardo e Ely pela amizade, pelas orações, apoio e estímulo;

Aos meus irmãos Emir, Samir, Samia, Eny, Rachid, Chafic e Elias, pela solidariedade, incentivo e dedicação em momentos decisivos da minha vida.

Especial agradecimento ao meu sobrinho Chafic Rachid El-Husny Neto, pela total dedicação, apoio e incentivo.

Especial agradecimento à minha esposa Auxiliadora e filhas Jamile, Yasmin e Najla, pelo Amor, Carinho, Confiança e Dedicação incondicional e pela Vida Maravilhosa que me concedem.

Aos Colegas de Curso Raimundo Lázaro da Cunha, Débora Aragão, Andréa de Barros, Eliana de Abreu, Elaine de Oliveira, Gladys Martinez pelo convívio, pela amizade e apoio.

Aos Amigos Emeleocípio Botelho de Andrade, Antônio Carlos Paula Neves da Rocha, Austrelino Silveira Filho, José Paulo Chaves da Costa, Dílson Augusto Capucho Frazão e Antônio Ronaldo Jatene, pelo grande apoio e estímulo.

A Todas as Pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

### RESUMO

### ABSTRACT

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>26</b>
2.1 AS PASTAGENS E A PECUÁRIA NA AMAZÔNIA E MICRORREGIÃO DE PARAGOMINAS .....	26
2.2 O CULTIVO DE GRÃOS (ARROZ, MILHO E SOJA) NA MICRORREGIÃO DE PARAGOMINAS .....	31
2.3 INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	35
2.4 IMPACTO AMBIENTAL DE TECNOLOGIAS E SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	37
2.5 QUALIDADE DO SOLO.....	39
2.6 ANÁLISE MULTIVARIADA NA INTERPRETAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO.....	46
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>48</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO .....	48
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	50
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE USO DO SOLO .....	52
3.4 ÉPOCAS DE COLETA DO SOLO.....	57
3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	57
3.6 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	58
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>60</b>
4.1 INDICADORES QUÍMICOS DE QUALIDADE DO SOLO .....	60
4.1.1 <b>Matéria Orgânica</b> .....	60
4.1.2 <b>Nitrogênio</b> .....	64
4.1.3 <b>Fósforo</b> .....	67
4.1.4 <b>Potássio</b> .....	72
4.1.5 <b>Cálcio</b> .....	75
4.1.6 <b>Magnésio</b> .....	79
4.1.7 <b>Sódio</b> .....	82
4.1.8 <b>Alumínio</b> .....	85
4.1.9 <b>pH em H<sub>2</sub>O</b> .....	88
4.1.10 <b>Acidez Potencial (H+Al)</b> .....	90
4.1.11 <b>CTC Efetiva (t)</b> .....	95
4.1.12 <b>Soma de Bases Trocáveis</b> .....	98
4.1.13 <b>Percentagem de Saturação de Alumínio (m)</b> .....	101
4.1.14 <b>CTC a pH 7,0 (T)</b> .....	104
4.1.15 <b>Percentagem de Saturação de Bases da CTC a pH 7 (V)</b> .....	109
4.2 INDICADORES BIOQUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO.....	111
4.2.1 <b>Carbono da Biomassa Microbiana</b> .....	111
4.2.2 <b>Respiração Basal do Solo</b> .....	116
4.2.3 <b>Quociente Respiratório</b> .....	120
4.2.4 <b>Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo</b> .....	125
4.2.5 <b>Urease</b> .....	130
4.2.6 <b>Fosfatase Ácida</b> .....	134
4.2.7 <b>Amônio</b> .....	137
4.2.8 <b>Nitrato</b> .....	141

<b>4.2.9 Fósforo Total .....</b>	<b>147</b>
<b>4.2.10 – Fósforo Orgânico.....</b>	<b>150</b>
<b>4.2.11 Esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) .....</b>	<b>153</b>
<b>4.2.12 Matéria Seca de Liteira .....</b>	<b>158</b>
<b>4.3 UMIDADE DO SOLO .....</b>	<b>164</b>
<b>5 ANÁLISE MULTIVARIADA .....</b>	<b>169</b>
<b>5.1 ESTRUTURA DE ASSOCIAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO.....</b>	<b>169</b>
<b>5.2 ESTRUTURA DE ASSOCIAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOQUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO.....</b>	<b>175</b>
<b>5.3 INTEGRAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS QUÍMICAS, BIOQUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO .....</b>	<b>179</b>
<b>5.3.1 Estrutura de associação entre as variáveis .....</b>	<b>179</b>
<b>5.3.2 Ordenação das variáveis químicas, bioquímicas e biológicas do solo .....</b>	<b>185</b>
<b>5.4 TESTE DE MÉDIAS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ESCORES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS.....</b>	<b>187</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>202</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>205</b>

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** Produção pecuária (Nº de cabeças/rebanhos e produção de leite) dos municípios da região da Belém-Brasília (Paragominas, São Miguel do Guamá, Mãe do Rio, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Ulianópolis, Dom Eliseu) no Estado do Pará no ano de 2008. .... 30
- Tabela 2** Área plantada, expectativa de safra e de renda bruta das culturas de arroz, milho e soja dos municípios de Paragominas, Ulianópolis e dom Eliseu para o ano de 2008. .... 33
- Tabela 3** Dados meteorológicos da Estação do Município de Paragominas-Pará, no período de 1980 a 1988, e dados meteorológicos do ano de 2008. .. 49
- Tabela 4** Análises granulométricas dos solos sob os diferentes sistemas de uso, 2009..... 52
- Tabela 5** Teores de matéria orgânica (g/kg) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. . 60
- Tabela 6** Teores de nitrogênio (g/kg) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. .. 65
- Tabela 7** Teores de fósforo (mg/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008..... 68
- Tabela 8** Teores de potássio (mg/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. .. 73
- Tabela 9** Teores de cálcio (cmol/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. .. 76
- Tabela 10** Teores de magnésio (cmol/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. .. 79
- Tabela 11** Teores de sódio (mg/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. .. 83
- Tabela 12** Teores de alumínio (cmol/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. .. 85
- Tabela 13** Valores de pH em H<sub>2</sub>O do solo, em diferentes sistemas de uso,

épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. ... 89

**Tabela 14** Acidez potencial ( $\text{cmol/dm}^3$ ) do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. ... 91

**Tabela 15** Capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva ( $\text{cmol/dm}^3$ ) do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008..... 96

**Tabela 16** Soma de bases trocáveis ( $\text{cmol/dm}^3$ ) do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.99

**Tabela 17** Percentagem de saturação de alumínio (%) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008..... 102

**Tabela 18** Capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 ( $\text{cmol/dm}^3$ ) do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008..... 105

**Tabela 19** Percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 (%) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....110

**Tabela 20** Teores de Carbono da biomassa microbiana ( $\mu\text{g/g}$ ) no solo, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....112

**Tabela 21** Valores da respiração basal ( $\mu\text{gCO}_2.\text{g solo}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....117

**Tabela 22** Valores do quociente respiratório ( $\mu\text{gC-CO}_2.\mu\text{g}^{-1}\text{ C-BMS}.\text{h}^{-1}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008..... 121

**Tabela 23** Teores de nitrogênio da biomassa microbiana ( $\mu\text{g/g}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008..... 125

<b>Tabela 24</b> Valores da atividade da urease ( $\mu\text{g NH}_4\text{-N.g S}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solos e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....	131
<b>Tabela 25</b> Valores da atividade da fosfatase ácida ( $\mu\text{g NPP.gS}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....	135
<b>Tabela 26</b> Valores médios do teor de amônio ( $\mu\text{g/g}$ ) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. ....	138
<b>Tabela 27</b> Valores médios do teor de nitrato ( $\mu\text{g/g}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. ....	142
<b>Tabela 28</b> Teor de fósforo total ( $\mu\text{g/g}$ ) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....	148
<b>Tabela 29</b> Valores médios do teor de Fósforo orgânico ( $\mu\text{g/g}$ ) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....	151
<b>Tabela 30</b> Densidade de esporos de fungos micorrízicos (unid./50 ml de solo) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....	154
<b>Tabela 31</b> Matéria seca de liteira ( $\text{g/ } 0,25 \text{ m}^2$ ) sob o solo para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solos e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. ....	159
<b>Tabela 32</b> Teores de umidade do solo (%), em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.....	164
<b>Tabela 33</b> Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis indicadores da dinâmica da fertilidade e de atividades bioquímicas no solo. ....	184
<b>Tabela 34</b> Autovalores e autovetores obtidos na análise fatorial .....	187

<b>Tabela 35</b> Valores médios dos escores do componente principal I em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.....	188
<b>Tabela 36</b> Valores médios dos escores do componente principal II em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.....	188
<b>Tabela 37</b> Valores médios dos escores do componente principal III em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.....	192
<b>Tabela 38</b> Valores médios dos escores do componente principal IV e em função dos sistemas de uso e épocas de coleta de solo e interações.....	193
<b>Tabela 39</b> Valores médios dos escores do componente principal V em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo e interações.....	197
<b>Tabela 40</b> Valores médios dos escores do componente principal VI em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo e interações.....	199

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Localização do Município de Paragominas no Estado do Pará, na Amazônia Legal, e no Brasil. Fonte: IBGE, 2008. .... 48
- Figura 2** Imagem de parte da região próxima a cidade de Paragominas, contemplando as áreas com os diferentes sistemas de uso do solo avaliados no presente estudo..... 51
- Figura 3** Reflorestamento natural com tempo aproximado de 30 anos. Fazenda Vitória-Paragominas-Pará. .... 53
- Figura 4** Plantio de milho em sistema de integração lavoura-pecuária. Fazenda Vitória – Paragominas-Pará. .... 54
- Figura 5** Formação de pastagem a partir de plantio de milho associado em sistema de integração lavoura pecuária, detalhe de pós-colheita do milho. Fazenda Vitória – Paragominas - Pará..... 55
- Figura 6** Sistema Santa Fé, integração lavoura-pecuária, detalhe de pastejo, após a colheita do milho. Fazenda Vitória – Paragominas – Pará. .... 55
- Figura 7** Pastagem de mombaça formada a partir de plantios de arroz e milho em Sistema Barreirão. Fazenda Vitória-Paragominas-Pará..... 56
- Figura 8** Pastagem de Braquiária, com aproximadamente dez anos, utilizada com pecuária leiteira. Fazenda Nova Paz-Paragominas-Pará. .... 57
- Figura 9** Teores de matéria orgânica em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. .... 63
- Figura 10** Teores de nitrogênio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. .... 66
- Figura 11** Teores de fósforo em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. .... 71
- Figura 12** Teores de potássio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. .... 74
- Figura 13** Teores de cálcio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. .... 77
- Figura 14** Teores de magnésio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. .... 81
- Figura 15** Teores de sódio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. .... 84
- Figura 16** Teores de alumínio em diferentes sistemas de uso do solo e em

diferentes épocas de coleta de solo. ....	87
<b>Figura 17</b> Teores de pH em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	90
<b>Figura 18</b> Acidez potencial em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	94
<b>Figura 19</b> Capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	97
<b>Figura 20</b> Soma de bases trocáveis em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	100
<b>Figura 21</b> Percentagem da saturação de alumínio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	103
<b>Figura 22</b> Capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	108
<b>Figura 23</b> Percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	111
<b>Figura 24</b> Teores de carbono da biomassa microbiana em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	115
<b>Figura 25</b> Respiração basal em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	119
<b>Figura 26</b> Quociente respiratório em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	122
<b>Figura 27</b> Teores de nitrogênio da biomassa microbiana em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	128
<b>Figura 28</b> Atividade da urease em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	132
<b>Figura 29</b> Atividade da fosfatase ácida em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	136
<b>Figura 30</b> Teores de amônio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	140
<b>Figura 31</b> Teores de nitrato em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	146
<b>Figura 32</b> Teores de fósforo total em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	150

<b>Figura 33</b> Teores de fósforo orgânico em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	152
<b>Figura 34</b> Densidade (unid./50 ml de solo) de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	156
<b>Figura 35</b> Área pós-colheita de arroz em junho de 2007. Fazenda Vitória – Paragominas – Pará.....	162
<b>Figura 36</b> Palhada remanescente de plantio de arroz em julho de 2007. Fazenda Vitória-Paragominas-Pará. ....	162
<b>Figura 37</b> Plantio de milho em abril de 2008. Fazenda Vitória – Paragominas – Pará.....	163
<b>Figura 38</b> Plantio de milho em abril de 2008. Detalhe de ausência de liteira. Fazenda Vitória – Paragominas – Pará.....	163
<b>Figura 39</b> Teores de umidade em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo. ....	166
<b>Figura 40</b> Estrutura de correlação entre as variáveis químicas do solo, classificados segundo a análise multidimensional ( <i>multidimensional scaling</i> , MDS), com base na correlação de Spearmann.....	170
<b>Figura 41</b> Estrutura de correlação entre as variáveis bioquímicas e biológicas do solo, classificados segundo a análise multidimensional ( <i>multidimensional scaling</i> , MDS), com base na correlação de Spearmann.....	176
<b>Figura 42</b> Estrutura de correlação entre as variáveis químicas, bioquímicas e biológicas do solo, classificados segundo a análise multidimensional ( <i>multidimensional scaling</i> , MDS), com base na correlação de Spearmann. ...	180
<b>Figura 43</b> Disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta de solo dos componentes principais I e II e orientação dos autovetores obtidos na análise fatorial.....	190
<b>Figura 44</b> Disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo dos componentes principais III e IV e orientação dos autovetores obtidos na análise fatorial.....	195
<b>Figura 45</b> Disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo dos componentes principais V e VI e orientação dos auto-vetores obtidos na análise fatorial. ....	200

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E UNIDADES

**Al** Alumínio

**C** Carbono

**CaCl<sub>2</sub>** Cloreto de cálcio

**C-BMS** Carbono da biomassa microbiana do solo

**CO<sub>2</sub>** Dióxido de carbono; Gás carbônico

**CTC** Capacidade de troca de cátions

**EDTA** Ácido etilenodiaminotetracético

**FDA** enzima diacetato de fluoresceína

**g** grama

**ha** Hectare

**H+Al** Acidez potencial

**H<sub>2</sub>O** Água

**HCl** Ácido clorídrico

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** Ácido sulfúrico

**IBGE** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

**KCl** Cloreto de Potássio

**km** quilômetro

**km<sup>2</sup>** quilômetro quadrado

**m<sup>2</sup>** metro quadrado

**N** Nitrogênio

**NaOH** Hidróxido de sódio

**N<sub>2</sub>** gás nitrogênio

**N<sub>2</sub>O** Óxido nitroso

**NH<sub>4</sub>** Amônio

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** Nitrato

**N-P-K** Formulação de fertilizante contendo nitrogênio, fósforo e potássio.

**NPP** p-nitrofenyl fosfato

**O<sub>2</sub>** Gás oxigênio

**P** Fósforo

**PAS** Plano Amazônia Sustentável

**pH** Potencial hidrogeniônico

**PO** Fósforo orgânico

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** Pentóxido de fósforo

**PRNT** Poder relativo de neutralização total

**S** Enxofre

**SPD** Sistema de plantio direto

**SO<sub>4</sub>** Sulfato

**UA** Unidade animal

**µg** micrograma

**%** Percentagem

**cmol/dm<sup>3</sup>** centímol por decímetro cúbico

**g/kg** grama por quilograma

**mg/dm<sup>3</sup>** miligrama por decímetro cúbico

**µg/g** micrograma por grama

**µgCO<sub>2</sub>-g solo<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>** micrograma de dióxido de carbono por grama de solo por hora

**µgC-CO<sub>2</sub>-µg<sup>-1</sup> C-BMS.h<sup>-1</sup>** micrograma de carbono na forma de dióxido de carbono por carbono da biomassa microbiana do solo por hora

**µg NH<sub>4</sub>-N g S<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>** micrograma de nitrogênio na forma amoniacal por grama de solo por hora

**µg NPP gS<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>** micrograma de p-nitrofenyl fosfato por grama de solo por hora

## RESUMO

Visando avaliar indicadores químicos, bioquímicos e biológicos de qualidade de um Latossolo Amarelo Textura Muito Argilosa em sistemas de integração lavoura-pecuária no município de Paragominas - Estado do Pará, foi conduzido um estudo em que se analisou 04 sistemas de uso do solo em 03 épocas. Sistemas de uso: mata (reflorestamento natural) com cerca de 30 anos; pastagem com *Panicum maximum* (mombaça) formado a partir de um Sistema Barreirão; pastagem de *Brachiaria brizantha* (braquiária); e cultura do milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* visando implantação de um Sistema Santa Fé. O estudo ocorreu em 2008 e as épocas foram: abril (período chuvoso), julho (transição/início do período seco) e novembro (final do período seco). Em cada parcela foram coletadas a cada profundidade de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, 05 amostras de solo compondo uma amostra composta para cada profundidade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições, em fatorial 4X3, sendo o primeiro fator os quatro sistemas de uso do solo e o segundo fator as três épocas de coleta de solo. Realizaram-se análises de correlação e de componentes principais. As variáveis químicas analisadas foram: pH em H<sub>2</sub>O; acidez trocável (Al); acidez potencial (H+Al); CTC efetiva; CTC a pH 7; percentagem de saturação de alumínio; percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7; soma de bases, matéria orgânica do solo; teores de nitrogênio, cálcio, magnésio, sódio, potássio e fósforo. As variáveis bioquímicas e biológicas foram: teores de amônio e nitrato, teores de fósforo total e orgânico; umidade do solo; carbono e nitrogênio da biomassa microbiana; respiração basal; quociente respiratório; matéria seca de liteira; densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, atividades da urease e fosfatase ácida. Todos os indicadores foram eficientes na identificação de alterações no solo provocadas pelos sistemas de uso avaliados. Os solos dos sistemas com pastagens de braquiária e de mombaça apresentaram potencial de manter a qualidade do solo comparados ao solo da mata, usado como referencial, enquanto que o solo do sistema com milho apresentou perdas na qualidade.

**Palavras-chave:** Integração lavoura-pecuária, Qualidade do solo, Amazônia, Fertilidade do solo, Ecofisiologia do solo, Biologia e Bioquímica do solo.

## ABSTRACT

In order to evaluate the chemical, biochemical and biological quality indicators properties of a Yellow Latosol in agriculture-farmers integration in the municipality of Paragominas in Pará State, it was conducted a study which analyzed 04 cropping systems in 03 times . Use systems: forest (natural reforestation) with nearly 30 years, with *Panicum maximun* (mombaça) formed from a "Barreirão" system; *Brachiaria brizantha* pasture (braquiária) and corn intercropped with *Brachiaria ruziziensis* aimed at implementing a Santa Fé System. The study was conducted in 2008 and times were: April (rainy season), July (transition / early dry season) and November (end of dry season). In each plot were collected at each depth 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm, 05 soil samples making a composite sample made for each depth, representing four plots. At each site samples were taken randomly with four replications in a 4x3 factorial design, being the first factor the four systems of land use, and the second factor, the three sampling periods for the soil. It was performed correlation analysis and principal components. The analyzed chemical variables were: pH H<sub>2</sub>O, exchangeable acidity (Al), potential acidity (Al H), effective CEC, CEC at pH 7, aluminum saturation percentage, percentage base saturation of CEC at pH 7, sum of bases, soil organic matter, nitrogen content, calcium, magnesium, sodium, potassium and phosphorus. The biological and biochemical variables were: biological levels of ammonium and nitrate, total phosphorus and organic, basal respiration, soil moisture, microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen, respiratory quotient; dry litter; spore density of arbuscular mycorrhizal fungi, activities urease and acid phosphatase. All indicators were effective in identifying changes in the soil caused by the evaluated systems. The soils of the pastures of *Brachiaria* and *Panicum*, showed potential to maintain quality of the soil compared to forest soil, used as reference, while the soil of corn showed potential to maintain the soil quality, compared to forest soil, used as reference, while the corn soil showed losses in their quality.

**Keywords:** Agriculture-farmers integration, Soil quality, Amazonia, Soil fertility, Ecophysiology of soil, Biology and Biochemistry of the soil.

## 1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia Legal, a pecuária é a principal responsável pelo desmatamento, sendo que cerca de 80% da área desmatada decorre desta atividade. Os principais agentes de desmatamentos são grandes e médios pecuaristas, existindo, também, um elevado número de intermediários, que antecipam estes pecuaristas, e que são responsáveis de forma direta por grande parte dos desmatamentos (VIEIRA; FERREIRA; HOMMA, 2006).

Até 1980, o desmatamento nesta região totalizava cerca de 300 mil Km<sup>2</sup>, o equivalente a 6,0% do território regional. Na década de oitenta, cerca de 130 mil km<sup>2</sup> foram incorporados ao estoque desmatado, e na década de noventa outros 150 mil km<sup>2</sup>, atingindo o desmatamento um total de 580 mil km<sup>2</sup> na virada do milênio. Nos cinco primeiros anos da atual década, o ritmo intensificou-se, totalizando a área desmatada 700 mil km<sup>2</sup> em agosto de 2005, o equivalente a 14% da área total de toda a Amazônia Legal (BRASIL, 2006).

De 2001 a 2004 foram desmatados 73,9 mil Km<sup>2</sup>, sendo 87% nos Estados do Mato Grosso (42,3%), Pará (29,6%) e Rondônia (15,0%). O desmatamento avançou pouco na macrorregião da Amazônia Central e, menos ainda, na Amazônia Ocidental, ficando os Estados do Amazonas, Roraima e Amapá como os que apresentaram o menor percentual de suas áreas desmatadas (BRASIL, 2006).

No Estado do Pará, a situação mais crítica ocorre nos municípios situados nas regiões leste e sudoeste do estado, onde a maioria dos municípios possui grandes áreas já desmatadas (VIEIRA; FERREIRA; HOMMA, 2006).

A microrregião de Paragominas, localizada no sudeste paraense, experimentou nos últimos quarenta anos diferenciados ciclos econômicos, sendo o primeiro da pecuária, estimulado por incentivos fiscais que datam de 1966 (HOMMA, 2003), na seqüência e concomitantemente à pecuária, a exploração da madeira decorrente da necessidade do aproveitamento oriundo dos projetos agropecuários da região. Ambas atividades econômicas, apesar de benefícios, predominantemente, econômicos, causaram danos ambientais inerentes ao desmatamento e degradação de pastagens.

O município de Paragominas, no início da década de 80, transformou-se

no maior pólo madeireiro da América Latina. Em 1989 atingiu o seu pico de produção, acelerando o processo de destruição da biomassa florestal, decorrente de cortes e queimadas para implantação de pastagens em grandes fazendas de criação de gado. Neste contexto, dois terços de floresta nativa de Paragominas, correspondente a 1,2 milhão de hectares, foram derrubadas (NOVO PARÁ, 2001).

Atualmente, a atividade madeireira e a pecuária continuam com grande destaque e importância na economia da região, e através de investimentos públicos, incentivos fiscais e recursos da iniciativa privada, a microrregião de Paragominas sedia um pólo de produção de grãos em desenvolvimento, onde incluem-se outros municípios de seu entorno, atravessados pela BR 010 (Rodovia Belém-Brasília), cuja área é comumente chamada "*região da Belém-Brasília*", cobrindo uma extensão de 250 km entre os municípios de São Miguel do Guamá e Dom Eliseu (São Miguel do Guamá, Mãe do Rio, Aurora do Pará e Ipixuna do Pará, pertencem a microrregião do Guamá).

Outra atividade que, recentemente, cresce na região é a mineração através da exploração de caulim e bauxita, em Ipixuna do Pará e Paragominas, respectivamente, através da Companhia Vale do Rio Doce ou de empresas que possuem relação comercial com esta.

Em Paragominas, principalmente, e nos municípios mais próximos, Ipixuna do Pará, Ulianópolis e Dom Eliseu, partes das vegetações secundárias e também de pastagens estão sendo convertidas em cultivos intensivos de grãos, em sistema de rotação entre as culturas de arroz, milho, principalmente, e também soja, utilizando o sistema tradicional ou o sistema de plantio direto, dentro de um processo de produção agrícola e de recuperação ou renovação de pastagens, caracterizando, neste caso, sistemas de integração lavoura-pecuária.

As alterações provocadas à qualidade do solo pelos sistemas de produção supracitados praticados na região, ainda não foram avaliadas e requerem ações que identifiquem a magnitude dessas alterações, os quais, por comparação, também possam ter utilidade para identificar serviços ambientais prestados pelos sistemas praticados.

A avaliação da qualidade do solo na sustentabilidade das atividades agropecuárias é fundamental, devendo ser necessariamente usada nas

medidas de impactos ambientais de tecnologias e em sistemas produtivos na agropecuária. Nesta avaliação da qualidade do solo, faz-se necessário a utilização de indicadores no sistema, sensíveis e capazes de identificar as modificações ocorridas.

Considerando que a estabilidade do sistema solo pode ser limitada por modificações de seus atributos, é possível afirmar que modificações nesses atributos ou em parte deles, poderão afetar a estabilidade do solo de modo que a magnitude desse efeito influenciará de forma positiva ou negativa a qualidade do solo.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho consiste em avaliar, através de indicadores químicos e biológicos do solo, o efeito da agricultura de grãos (arroz e milho), associada à pastagens cultivadas na qualidade do solo, nas condições especificadas nessa pesquisa, no município de Paragominas, Estado do Pará, oferecendo subsídios na validação de indicadores de degradação ou serviços ambientais na forma dos sistemas de integração lavoura-pecuária, em uso na região ao nível de médias e grandes propriedades rurais.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 AS PASTAGENS E A PECUÁRIA NA AMAZÔNIA E MICRORREGIÃO DE PARAGOMINAS

No contexto da Amazônia, segundo Serrão, Nepstad e Walker (1998), o desenvolvimento agropecuário e florestal aconteceu, principalmente, em atenção aos interesses políticos e também aos fatores socioeconômicos relacionados à demanda por alimentos. Este tipo de desenvolvimento, segundo os autores, resultou em um aumento de áreas antropizadas, alteradas ou degradadas, decorrente da transformação da floresta tropical úmida em vegetação secundária (capoeiras), como consequência dos desmatamentos, exploração de madeira e abandono de áreas de cultivos e de pastagens.

No início da década de 70, o governo brasileiro como parte de uma decisão geopolítica e de soberania nacional, estimulou a ocupação da Amazônia concedendo financiamentos e incentivos fiscais para grandes empresas para o estabelecimento de grandes propriedades agropecuárias (VEIGA; TOURRAND, 2001). Apesar de questionamentos realizados por diversos autores e parte da sociedade, tanto no ponto de vista sócioeconômico como tecnológico, analisando o objetivo imediato, a iniciativa do governo teve efeito no sentido de ocupação do território, pois o uso, relativamente, simplificado da terra, com derrubadas e queimadas das florestas, seguidas pelo plantio de pastagens, facilitou de certa maneira o processo de ocupação e aproveitamento das terras na região (VEIGA; TOURRAND, 2001).

Nas décadas subseqüentes, a maioria dos novos desmatamentos para formação de pastagens de 1º ciclo (na seqüência imediata da derrubada da floresta), ocorreu para o atendimento das expansões dos rebanhos na região e pela perda da produtividade das pastagens, processo que caracteriza o início da degradação (VEIGA; TOURRAND, 2001).

As pastagens formadas após a derrubada das florestas, nas condições do trópico úmido, por pressões de plantas invasoras que dominam os pastos, possuem produtividades que dificilmente ultrapassam os dez anos (VEIGA; TOURRAND, 2001). Serrão e Dias-Filho (1991) descrevendo o ciclo evolutivo das pastagens cultivadas em áreas de floresta, explicam que durante os três a

cinco primeiros anos as produtividades são satisfatórias, porém, passado esse período, constatam-se gradual e progressivo decréscimos no vigor das forrageiras, culminando com a predominância de plantas invasoras, caracterizando uma pastagem degradada. Decorrente das citadas situações, segundo Serrão e Homma (1993), no início da década de 90, estimativas acusavam que cerca de 50% das áreas de pastagens estabelecidas na região amazônica estavam degradadas ou em vias de degradação. Segundo os mesmos autores, a situação indicava problemas no estabelecimento das pastagens, e ainda problemas com manejo e uso de pouca tecnologia na manutenção das pastagens, que potencialmente, considerando aspectos do uso da terra, teriam características permanentes.

Medidas tomadas pelo governo federal, proibindo desmatamento de novas áreas para formação de pastagens, fizeram com que as instituições de fomento deixassem de financiar abertura de áreas de florestas e dificultassem acesso aos recursos para expansão de projetos existentes e criação de novos (SUDAM, 1997). Esta conduta do governo federal, somada às pressões dos movimentos em defesa do meio ambiente, contribuiu para o crescimento de pesquisas que priorizaram a identificação das causas da degradação de pastagens e também os meios para a recuperação destas.

As causas das degradações de pastagens, segundo Dias-Filho (2007), variam com situações específicas. Contudo, em geral, mais de uma causa está envolvida em um processo de degradação. Como as principais causas da degradação de pastagens cultivadas, o mesmo autor cita: *práticas inadequadas de pastejo* que estão relacionadas ao uso de taxas de pastejo ou períodos de descanso que não levam em consideração o ritmo de crescimento do capim; *práticas inadequadas de manejo da pastagem*, como a ausência de adubação de manutenção (reposição), o uso do fogo para renovação (provocar rebrote) da pastagem ou para controlar plantas daninhas; *falhas no estabelecimento da pastagem*, decorrente do preparo do solo inadequado, uso de sementes de má qualidade, ou pelo plantio em época inadequada; *fatores bióticos*, como ataques de pragas e patógenos; *fatores abióticos*, como fatores relacionados ao clima, a fertilidade natural ou falta de aptidão dos solos (solos mal drenados).

Pesquisas realizadas permitiram desenvolver processos para

recuperação de áreas de pastagens degradadas, renovação ou formação de pastagens. Esses processos incluem destoca de áreas, preparo mecanizado do solo, correção e adubação do solo, seleção de gramíneas forrageiras, melhoria na qualidade das sementes, adoção de sistemas de pastejo rotacionado intensivo (COSTA et al., 2000; CAMARÃO et al., 2002), de sistemas silvipastoris, agrissilvipastoris, ou integração lavoura-pecuária (VEIGA; TOURRAND, 2001; KLUTHCOUSKI et al., 2003; VEIGA et al., 2004; DIAS-FILHO, 2006; DIAS-FILHO; 2007).

O pastejo rotacionado intensivo apresenta, segundo Teixeira Neto et al. (2000), vantagens comparados aos sistemas convencionais em relação à pressão de pastejo e ganhos de peso por hectare/ano com uma superioridade na ordem de quatro vezes mais, e ainda com vantagens ambientais de construir um solo fértil e sustentável, perenizando as pastagens e diminuindo a pressão para desmatamento de novas áreas para formação de pasto.

Para Veiga e Tourrand (2001), o pastejo rotativo mais intensivo, para que tenha atendida sua expectativa de maior receita líquida e sustentabilidade do sistema (COSTA et al., 2000), necessita proporcionar aumentos significativos na produção animal, tanto por área como por animal, fato que somente é possível com aumento significativo na produtividade e na qualidade forrageira, e para tanto, são necessários uma correta reposição de nutrientes ao solo e também um eficiente consumo e transformação em carne ou leite pelos animais. Segundo Alves (1999), apesar dos custos elevados para adoção dos sistemas de intensificação de pastagens, mesmo nos primeiros anos estes sistemas são economicamente viáveis em condições favoráveis de custo de fertilizantes, infra-estrutura e mão de obra.

Em um estudo de sistema e custo de produção de gado de corte na região de Paragominas, os autores concluíram que, considerando o sistema de produção adotado pela maioria dos estabelecimentos da região para o gado de corte, os resultados econômicos são desfavoráveis em épocas em que o preço do boi gordo está abaixo da média histórica, fugindo desta situação apenas os produtores mais organizados e produtivos, com melhor situação econômica (CORRÊA et al., 2005). Os mesmos autores concluíram que o controle de invasoras, agravado pela redução gradual da fertilidade do solo, constitui um sério problema na região, sendo um dos mais importantes componentes do

sistema de produção. Outro problema identificado foi a morte do capim braquiário ou marandu (*Brachiaria brizantha*), em grandes proporções, contribuindo para redução na capacidade de suporte das pastagens.

A falta de adaptação de espécies às condições dos trópicos úmidos, historicamente, entre outros fatores, deu sua parcela de contribuição na falta de estabilidade das pastagens. Na década de 70, predominava o uso do capim colômbio (*Panicum maximum*), o qual foi preterido dos sistemas de produção, principalmente, pelas grandes exigências nutricionais que possuía. Na sequência dos anos, com maior disponibilização de espécies e sementes, as opções passaram a ser as gramíneas quicúio-da-Amazônia (*Brachiaria humidicola*) e o braquiário ou marandu (*Brachiaria brizantha*), sendo que o quicúio teve sua expansão comprometida pela suscetibilidade ao ataque de cigarrinha-das-pastagens (*Deois sp*). O braquiário pela sua rusticidade passou a ser a forrageira de maior predominância nas pastagens (VEIGA; TOURRAND, 2001).

O braquiário vem apresentando problemas relacionados a sua sobrevivência, segundo pesquisadores, provavelmente em decorrência do ataque de fungos fitopatogênicos do solo (*Pythium perillium*, *Rhizoctonia solani*, e uma espécie de *Fusarium*), que tem ação patogênica sobre as plantas em pastagens submetidas a estresse de umidade, nutricional e de manejo, provocando a morte da planta (TEIXEIRA NETO et al., 2000; DIAS-FILHO, 2006; DIAS-FILHO, 2007).

Outras espécies de gramíneas forrageiras são recomendadas para região, contudo, são em sua maior parte da espécie *Panicum maximum*, como o capim mombaça, altamente exigente em nutrientes, requerendo processos de fertilizações de solo (TEIXEIRA NETO et al., 2006; VEIGA, 2006).

Entre as gramíneas forrageiras mais utilizadas na região de Paragominas, estão a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (braquiário ou marandu), ocupando 90% da área total de pastagem, a *Brachiaria humidicola* (quicúio) com 5% da área e o *Panicum maximum* cv. Mombaça (mombaça) com, também, 5% da área (CORRÊA et al., 2005)

Relacionado à produção animal, a bovinocultura de corte é predominante. A raça Nelore predomina em grande parte das criações, contudo, existem também criações de animais das raças Simental, Limosin e

Guzerá (SEMAIC, 2004). Em algumas fazendas, visando melhor rendimento e qualidade na produção, também são criados bovinos provenientes de cruzamentos entre raças zebuínas e taurinas.

A Tabela 1 apresenta a produção pecuária dos municípios da região da Belém-Brasília no Estado do Pará. Os dados não incluem a produção de aves, a qual ocorre na região com menor expressão. De acordo com dados da Tabela 1, em 2008 o rebanho bovino da região alcançou o total de 955.880 cabeças, com destaque para o efetivo do município de Paragominas com maior contribuição neste montante, além do crescimento evidenciado pelo fato de apresentar no ano de 2002 um total de 400.877, passando em 2008 para 418.976 cabeças (IBGE, 2002; IBGE, 2008a).

O processo de manejo animal e de pastagens relacionado ao sistema de pastejo rotacionado vem sendo praticado em algumas propriedades, inclusive complementada com o sistema de integração lavoura-pecuária com objetivo de diminuir os custos no estabelecimento de cercas, correção do solo e sua fertilização na renovação ou recuperação das pastagens.

**Tabela 1** – Produção pecuária (Nº de cabeças/rebanhos e produção de leite) dos municípios da região da Belém-Brasília (Paragominas, São Miguel do Guamá, Mãe do Rio, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Ulianópolis, Dom Eliseu) no Estado do Pará no ano de 2008.

Rebanhos	Paragominas	S.M. do Guamá	Mãe do Rio	Aurora	Ipixuna	Ulianópolis	D. Eliseu	TOTAL
<b>Bovinos</b>	<b>418.976</b>	<b>27.156</b>	<b>67.856</b>	<b>93.884</b>	<b>114.094</b>	<b>99.457</b>	<b>134.457</b>	<b>955.880</b>
Suínos	4.419	450	9.422	6.755	5.652	4.389	6.735	37.822
Eqüinos	3.724	661	982	1.864	2.291	1.697	2.795	14.014
Asininos	347	16	315	204	269	329	592	2.072
Muare	2.993	301	438	458	1.070	810	1.359	7.429
Bubalinos	943	370	184	26	940	72	137	2.672
Ovinos	4.512	493	459	1.814	2.506	1.743	2.796	14.323
Caprinos	2.460	51	641	986	897	1.670	1.491	8.196
Vacas								
Ordenhadas	28.190	822	6.512	3.836	7.206	4.306	11.282	62.154
Produção de leite (1000 L)	20.115	518	4.743	3.173	5.425	3.426	9.069	46.469

Fonte: IBGE (2008a).

## 2.2 O CULTIVO DE GRÃOS (ARROZ, MILHO E SOJA) NA MICRORREGIÃO DE PARAGOMINAS

O Governo do Estado do Pará, a partir de 1994 lançou e incentivou programas que visaram a produção de grãos, inicialmente nas áreas de cerrado localizado no sul do Estado (Redenção) e, posteriormente, em áreas alteradas de florestas, nas regiões do Médio Amazonas (Santarém) e Belém-Brasília (Paragominas), localizada a 170 Km da ferrovia de Carajás (Açailândia-MA).

Em atendimento a essa demanda, a Embrapa Amazônia Oriental, desde 1996, vem desenvolvendo, nas sedes desses municípios/Pólos, em parceria, no âmbito interno, com a Embrapa Soja, Embrapa Milho e Sorgo e Embrapa Arroz e Feijão, estudos que visam a adaptação às condições ambientais locais, de cultivares de grãos e de componentes dos processos tecnológicos desenvolvidos.

O programa de produção de grãos em escala empresarial no Estado do Pará era componente de um plano de governo estadual, sendo uma das propostas de mudança da base produtiva do Estado no setor agrícola, tendo seus incentivos direcionados para três pólos de desenvolvimento: Pólo de Redenção, Pólo de Paragominas e Pólo de Santarém.

No cultivo intensivo de grãos na microrregião de Paragominas, as lavouras de grãos têm, predominantemente, se estabelecido em áreas cujos solos classificam-se como Latossolo Amarelo, com textura variando de argilosa (35 a 60 % de argila) a muito argilosa (maior que 60 % de argila). São solos muito intemperizados, normalmente ácidos, de boa drenagem.

Sob ponto de vista de seu uso agrícola, os solos, além de ácidos, apresentam baixa saturação de bases e baixa capacidade de troca catiônica, razão pela qual, necessariamente recebem calagem e fertilização (VIEIRA; OLIVEIRA, 1971); o teor de fósforo é, em geral, muito baixo. Por outro lado, em algumas áreas na região onde estão sendo cultivadas lavouras de arroz, milho e soja, onde existiam pastagens, na camada de 0-20 cm do solo, os teores de alumínio mostram-se baixos e a acidez potencial apresenta-se média (EL-HUSNY et al., 1998; EL-HUSNY et al., 2003; TEIXEIRA; OLIVEIRA, 1999), fato que pode ser atribuído, entre outros fatores, ao efeito de cinzas oriundas de

queimadas para renovação de pastagens, prática adotada na região (FALESI, 1976). Em decorrência desta situação, a quantidade de calcário, em geral dolomítico, utilizada na operação de calagem, não ultrapassa a 1.500 Kg por hectare, com variação face ao poder relativo de neutralização total (PRNT) do corretivo.

Considerando fatores como textura do solo (argilosa a muito argilosa) e ciclos das cultivares de arroz, soja e híbridos de milho com recomendação para região, que variam entre 110 a 135 dias e o ano agrícola, que corresponde ao período chuvoso, verifica-se que o período para os cultivos são bastante curtos com precipitações pluviométricas intensas e freqüentes. Esta situação em conjunto com as operações mecanizadas inerentes ao preparo de área (aração e gradagem), plantio, pulverizações para controle de plantas daninhas, insetos pragas e doenças, e a colheita, permite a percepção de que são grandes as possibilidades de degradação dos solos se não manejados convenientemente, ou seja, através de práticas conservacionistas capazes de minimizar os impactos negativos e promover a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

A pesquisa em genética e melhoramento tem dado uma significativa contribuição à adaptação de cultivares de soja, arroz e milho e, em conseqüência, para agricultura brasileira, sendo responsável pelo aumento da produtividade tanto nas regiões tradicionais como nas áreas de expansão da cultura, através da criação de novas cultivares. Em Paragominas, as cultivares de soja, arroz e milho obtidas pela pesquisa e recomendadas pela Embrapa alcançam produtividades em Kg/ha de 3.975, 3.785 e 8.031, respectivamente (EL-HUSNY et al., 2003; EL-HUSNY et al., 2006; LOPES; SILVEIRA FILHO, 2002; SOUZA et. al., 2002; SOUZA et al., 2005).

A Tabela 2 apresenta a área plantada, a safra e a receita bruta obtida nos plantios de milho, arroz e soja nos municípios de Paragominas, Ulianópolis e Dom Eliseu, componentes do Pólo de produção de grãos de Paragominas no ano agrícola de 2008 (IBGE, 2008b).

Atualmente, na região de Paragominas entre as cultivares não transgênicas mais plantadas de soja estão a BRS Sambaíba, BRS Tracajá e BRS Candeia , pertencentes a Embrapa (EL-HUSNY et al., 2003; EL-HUSNY et al., 2006), entre as cultivares de arroz estão a BRS Sertaneja, BRS Curinga e BRS Bonança , também pertencentes a Embrapa (LOPES; SILVEIRA FILHO,

2002; LOPES, 2007); quanto aos plantios de milho, o mais plantado é o híbrido 30F80, sendo plantado também o híbrido 30K75, ambos pertencentes a multinacional Pioneer.

**Tabela 2** – Área plantada, expectativa de safra e de renda bruta das culturas de arroz, milho e soja dos municípios de Paragominas, Ulianópolis e Dom Eliseu para o ano de 2008.

Cultura	Área Colhida em 2008 (hectares)	Safra em 2008 (toneladas)	Receita bruta em 2008 (R\$1.000,00)
Milho	41.750	198.045	63.974
Soja	24.220	71.270	52.401
Arroz	23.800	62.385	34.590
Total Geral	89.770	331.700	150.965

Fonte: IBGE (2008b).

As elevadas produtividades das culturas de milho, arroz e soja alcançadas se devem às correções e adubações praticadas, pois as cultivares obtidas pelo melhoramento moderno, predominantemente, são altamente responsivas à fertilização dos solos. Desta maneira, considerando conjunturas puramente econômicas, visando altas produtividades, altas adubações, por vezes, contrárias aos princípios técnicos e racionais, podem ser praticadas. Apesar da pesquisa local disponibilizar resultados preliminares de adubação para as culturas de milho, arroz e soja (CRAVO; VIÉGAS; BRASIL, 2007), a transferência de tecnologia é ainda insuficiente, de maneira que um considerável número de produtores da região utilizam prescrições de fertilidade adaptadas de outras regiões.

Recentemente, um programa computacional de apoio ao manejo de nutrientes do solo, o "NuMass 2.2", foi desenvolvido pela Universidade Estadual de Carolina do Norte (EUA), tendo a Embrapa como uma das instituições colaboradoras em nível mundial no processo de desenvolvimento do "software". O "software" possibilita recomendações de calagem, adubação nitrogenada e fosfatada para culturas de interesse regional prevenindo a aplicação excessiva ou deficiente de calcário e fertilizantes, além de análise da viabilidade econômica das decisões dos produtores, inserindo-se entre as áreas de aplicação a região de Paragominas. Entre as culturas relacionadas no NuMaSS 2.2 incluem-se milho, feijão-caupi (*Vigna*), feijão (*Phaseolus*), algodão, milheto, sorgo, soja, arroz de sequeiro e pastagem (EMBRAPA,

2008).

A produção de grãos nas condições de Paragominas, pela situação de clima e solo apresentadas na região, tem merecido questionamentos quanto a sustentabilidade dos sistemas de produção praticados de forma convencional, ou seja, com preparo de área e manejo das culturas com intensa mecanização. Na implantação de culturas de grãos em grande escala, a implementação de um sistema de manejo que permita uso dos recursos naturais de modo a compatibilizar a necessidade de produção de alimentos com a preservação ambiental têm sido um desafio.

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma forma conservacionista de manejo dos solos e das culturas, bastante difundido e praticado na região sul, cerrados do centro-oeste e em outras regiões produtoras de grãos, tendo se mostrado plausível no sentido da conciliação do impasse entre produção de alimentos e preservação ambiental (BERNARDI et al., 2003; DERPSCH, 1997; PLATAFORMA PLANTIO DIRETO, 2010). Entre as vantagens, atribuídas ao sistema, estão a redução das perdas de solo, água e nutrientes, e a otimização da produção das culturas com simultânea melhoria das condições ambientais (PLATAFORMA PLANTIO DIRETO, 2010; DERPSCH, 1997; SALTON, 1998).

No Estado Pará, experiências com plantio direto com resultados promissores e com adoções por produtores tem acontecido no município de Igarapé-Açu (EMBRAPA, 2003; KATO et al. 2002a; KATO et al., 2002b), em caráter de agricultura familiar (pequena agricultura), e em Altamira, com o plantio direto de feijão do gênero *Phaseolus*, sobre a palhada de guandu (LOPES; CELESTINO FILHO, 2003). Quanto a agricultura em grande escala, as pesquisas conduzidas apresentam resultados promissores através de estudos realizados em Redenção e Paragominas (SILVEIRA FILHO et al., 2001a, 2001b).

Nas condições prevalentes na microrregião de Paragominas, os efeitos deste manejo sobre as características bioquímicas e biológicas dos solos são desconhecidos, bem como seus possíveis benefícios relacionados a estas características, existindo, portanto, necessidades de pesquisas com este objetivo.

## 2.3 INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Na aplicação de níveis tecnológicos mais avançados, a renovação de pastagens antecedidas por lavouras de grãos vêm ocorrendo como prática agrícola viável definida pela pesquisa (ALVARENGA; NOCE, 2005; KLUTHCOUSKI; AIDAR; COBUCCI, 2007). Desta maneira, basicamente, são duas as possibilidades de renovação ou recuperação de pastagens. A primeira consiste no plantio consorciado da cultura anual com a pastagem, sendo a semente da gramínea forrageira semeada de modo a não permitir implicações negativas relacionadas com a competição entre a pastagem e cultura de grãos, sendo estabelecido manejos que favorecem a cultura de grãos; a segunda opção consiste em plantar as pastagens após alguns anos de rotação de culturas anuais como arroz, milho, soja e feijão.

Tecnologias geradas pela pesquisa aprimoraram esses sistemas de plantios consorciados entre gramíneas forrageiras e cultura de grãos definindo variações em função das necessidades dos produtores, como, por exemplo, a semeadura do capim por ocasião de adubações de cobertura das culturas (CRUSCIOL; BORGHI, 2007; CRUSCIOL et al., 2009).

O Sistema Santa Fé, desenvolvido pela Embrapa em parceria com a Fazenda Santa Fé, consiste em plantar uma cultura anual, como a soja, o milho ou o arroz, consorciada com uma gramínea, para pastejo, como o do gênero *Brachiaria*. O sistema se adequa aos produtores que possuem o objetivo permanente de produzir grãos e criar animais, pois o mesmo permite a produção de palhada para o sistema de plantio direto ou para produção de forragem no período de entressafra. A seqüência de uso durante os anos admite variações em decorrência dos propósitos do produtor (KLUTHCOUSKI; STONE; AIDAR, 2003).

O Sistema Barreirão também consiste em plantar uma cultura anual consorciada com uma gramínea forrageira para pastejo. Contudo, a lavoura de grãos é realizada, exclusivamente, para recuperação de pastagens degradadas, onde existe a necessidade de preparo do solo de forma pesada, para quebra de camadas compactadas e cupinzeiros, remoção de invasoras ou vegetação espontânea permanentes (KLUTHCOUSKI; STONE; AIDAR, 2003).

Vale ressaltar que os cuidados para a implantação relacionados aos

condicionamentos iniciais, físicos e químicos dos solos com operações de aração e gradagens e aplicações corretivas de calcário, fósforo e potássio, se for o caso, são nos moldes dos praticados em áreas degradadas onde se pretende implantar o plantio direto. Porém neste contexto de áreas degradadas, a melhor opção seria fazer uso do sistema Barreirão no primeiro ano e nos anos seguintes, se a intenção for trabalhar com produção animal e de grãos, fazer a seqüência com o sistema Santa Fé, e se a intenção for a produção de grãos, então utiliza-se a palhada formada por braquiária apenas para prática do Plantio Direto de grãos (KLUTHCOUSKI; STONE; AIDAR, 2003).

Na região de Paragominas, o sistema de integração lavoura-pecuária, embora adotado em algumas fazendas, merece ser investigado pela pesquisa nas condições locais, por parecer constituir-se em um sistema agropecuário alternativo de grande valor, considerando a aptidão da região, além de fatores de sustentabilidade com ênfase às condições ambientais e econômicas. Na forma como estão sendo praticados, as adaptações freqüentes desvinculadas da pesquisa, podem não representar o melhor proveito desse sistema. Ressalta-se que atualmente a Embrapa Amazônia Oriental já inicia um projeto de pesquisa com ações na região de Paragominas, intitulado "Integração Lavoura-Pecuária-Silvicultura: Alternativa de Desenvolvimento Sustentável em Áreas Alteradas da Amazônia Brasileira".

Situação comum na região consiste na renovação das pastagens após sucessivos plantios com rotação de culturas de grãos (cerca de cinco anos), plantios esses, realizados por iniciativa do proprietário ou por arrendamento. Neste segundo caso, nem sempre o arrendatário, por questão de custos, promove o condicionamento químico e físico necessário para a durabilidade das pastagens que entrarão na seqüência dos cultivos de grãos, o que pode favorecer um depauperamento das pastagens e do solo em curto período, culminando com o retorno à condição de pastagem degradada.

Outra situação está relacionada à necessidade de avaliações dos sistemas integrados de lavoura-pecuária nas condições ambientais locais, os quais, ainda que praticados em conformidade com tecnologias já existentes para outras regiões, podem também não garantir a qualidade e durabilidade das pastagens de forma semelhante ao observado em outros ambientes, pois o

uso dessas tecnologias são relativamente recentes nas condições locais, portanto, carecendo de respostas a longo prazo.

## 2.4 IMPACTO AMBIENTAL DE TECNOLOGIAS E SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Os sistemas de produção agropecuária e florestal visando a sustentabilidade, devem buscar práticas e manejos que reduzam interações negativas de solo e clima e assegurem rendimentos adequados, conservem os recursos naturais e o meio ambiente. A colocação em prática deste propósito envolvem decisões que levam a substituição de manejos convencionais por manejos que agreguem práticas de conservação e mitigadoras de impactos ambientais.

Alguns sistemas de produção têm desenvolvido e adotado tecnologias mitigadoras de impactos ambientais, buscando melhores condições de sustentabilidade. Entretanto, um dos desafios que se tem apresentado para a pesquisa é o de avaliar o estado atual de um sistema e mensurar os progressos alcançados pela introdução de mudanças em direção de sistemas sustentáveis.

Os objetivos da sustentabilidade variam de acordo com as condições ecológicas, econômicas, sociais e culturais, sendo que as situações devem ser caracterizadas e as iniciativas adaptadas às necessidades e capacidades particulares, sendo importante, em algumas situações, restabelecer, não a estrutura original de um ecossistema, mas sim as suas funções, de modo que as necessidades humanas por qualidade de vida sejam atendidas (LANNA, 2002). Acrescenta a autora que entre os principais objetivos da avaliação de sustentabilidade incluem-se: conservar os recursos naturais, caracterizar e quantificar os principais processos de degradação, identificar características de resiliência e restauração dos recursos naturais, identificar opções de manejo compatíveis, suas potencialidades e suas limitações na definição de encaminhamentos para a adoção sustentável.

Um sistema sustentável em um ambiente rural deve incorporar a proteção dos recursos bióticos e abióticos, mantendo um nível aceitável da economia local e alcançando condições sociais satisfatórias. A complexidade da sustentabilidade, face ao seu caráter diversificado, permite a visão de que

esta nunca será plena, mas esforços devem ser realizados no sentido de aproximar-se dela (FERREIRA, 2005). A sustentabilidade pode ser vista como uma construção social, por conseguinte, é um processo regional exclusivo, não podendo ser reduzida a um conjunto de medidas tecnológicas focadas para a questão ambiental. Ela necessita de um sistema político mais descentralizado, o qual respeita a identidade regional e um controle local para os investimentos. Portanto, os métodos de avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas possuem uma dificuldade na determinação de limites, pois o produtor está inserido em uma comunidade e em uma rede interrelacionada (FERREIRA, 2005).

O Ambitec-Agro, um sistema de avaliação de impactos ambientais de inovações tecnológicas na agropecuária desenvolvido pela Embrapa Meio Ambiente (RODRIGUES; CAMPANHOLA; KITAMURA, 2002; RODRIGUES; CAMPANHOLA; KITAMURA, 2003), considera quatro aspectos de contribuição de uma inovação tecnológica para melhoria ambiental na produção agropecuária: o alcance da tecnologia, que expressa a escala geográfica em que ela influencia; a eficiência, que refere-se a contribuição da tecnologia para a sustentabilidade da atividade agropecuária; a conservação e recuperação ambiental, cada qual composto por um conjunto de indicadores. Concernente a conservação ambiental, os impactos são avaliados por indicadores relacionados ao comprometimento da qualidade da atmosfera, da água, da biodiversidade e do solo, como, por exemplo, perda da matéria orgânica, perda de nutrientes e compactação.

O uso dos solos pela incorporação aos processos produtivos na agricultura, pecuária, na silvicultura ou mineração, naturalmente interfere no equilíbrio e na dinâmica de qualquer ecossistema (GODOI, 2001). As práticas agropecuárias são, em geral, consideradas como a principal causa da degradação cuja extensão é refletida nas condições físicas, químicas e biológicas dos solos. Segundo Siqueira et al. (1994), os cultivos em solos tropicais apresentam maior ameaça ambiental, uma vez que estes são facilmente degradados.

As alterações ou desequilíbrios provocados pelos impactos de diferentes formas de uso da terra e sistemas de produção à qualidade do solo demandam ações e o uso de indicadores que permitam identificar a dimensão das

modificações causadas pelo uso da terra e sistemas de produção adotados. Dessa maneira, a avaliação da qualidade do solo como medida componente da sustentabilidade das atividades agropecuárias é um indicador fundamental, devendo ser necessariamente considerada.

## 2.5 QUALIDADE DO SOLO

O solo é a superfície inconsolidada que recobre as rochas e mantendo a vida animal e vegetal da terra (VIEIRA, 1975). O mesmo autor acrescenta que o solo é constituído de camadas que diferem pela natureza física, química, mineralógica e biológica, as quais se desenvolvem com o tempo influenciadas pelo clima e pela própria atividade biológica. Segundo Resende et al. (2007), o solo resulta de interações entre clima, organismos, material de origem e tempo. Os mesmos autores explicam que como o solo é considerado um corpo tridimensional, o relevo faz parte dele.

Os principais componentes do solo incluem minerais inorgânicos e partículas de areia, silte e argila, formas estáveis de matéria orgânica derivadas da decomposição da biota e a própria biota (DORAN et al., 1994). Acrescentam os autores que o solo, como um sistema natural vivo e dinâmico, regula a produção de alimentos e fibras e o balanço global do ecossistema, serve como meio para o crescimento vegetal através do suporte físico, disponibilização de água, nutrientes e oxigênio, e também pode atuar na regulação hídrica do ambiente, transformação e degradação de compostos poluentes. Peixoto (2008) define como funções do solo: sustentar a atividade biológica, diversidade e produtividade; regular o fluxo de água e solutos; filtrar e tamponar, degradando, immobilizando e detoxificando resíduos; armazenar e realizar ciclagem de nutrientes e outros elementos dentro da biosfera terrestre; e prover o suporte de estruturas socioeconômicas e proteção para tesouros arqueológicos e importantes associados a história da humanidade.

Segundo Peixoto (2008), os solos variam em relação à capacidade de exercer suas funções sendo a qualidade, peculiar a cada tipo de solo. Entretanto, neste contexto, englobam-se duas partes distintas, porém, interconectadas, a qualidade inerente e a qualidade dinâmica. A qualidade inerente é definida pelas propriedades como textura e mineralogia, inatas ao

solo, ou seja, determinadas por fatores de formação do solo como clima, material de origem, relevo e tempo. A qualidade dinâmica é definida por modificações naturais nas características do solo em função de atividades antrópicas e manejo. Dessa maneira, mais recentemente, a qualidade do solo tem se referido a qualidade dinâmica. Peixoto (2008) define também, atributos como um termo que engloba propriedades e características dos solos.

A qualidade do solo é definida por Doran e Parkin (1994) como a capacidade de um solo de funcionar nos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal. Karlen et al. (1997) definem como “a capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água, do ar e suportar o crescimento humano”. Alguns autores usam a expressão “saúde do solo” como sinônimo de qualidade do solo, pelo entendimento de que o solo como um sistema vivo e dinâmico, possui funções mediadas por uma diversidade de organismos que requerem práticas próprias de manejo e conservação (CARVALHO, 2005).

Dependendo dos fatores que a influenciam, a qualidade do solo pode ser melhorada ou deteriorada. Segundo Frighetto e Valarini (2000), existem fatores que são fixos e não podem ser modificados como geológicos, topográficos, climáticos e o tempo. Segundo os mesmos autores, o ecossistema do solo pode sofrer distúrbios como consequência das práticas agrícolas, como o preparo do solo, uso de fertilizantes, produtos para controle de doenças e pragas comuns na agricultura, tipos de cultura e processos de colheita.

Na avaliação da qualidade do solo em ecossistemas naturais, em geral, o objetivo é o de obter informações básicas de valor referencial para que futuras alterações possam ser analisadas e comparadas. Nos ecossistemas agrícolas a avaliação da qualidade do solo visa incentivar a produção sem degradar os solos. Na passagem de ecossistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo sensíveis a variações pelo uso e manejo relacionados com suas funções, são alterados, indicando perdas na sua qualidade. Desse modo, segundo Dias; Franco e Campello (2007), informações mais consistentes poderiam ser obtidas a partir do uso de um solo sem intervenção antrópica anterior submetendo-o a operações agrícolas e periodicamente

analisar as variações ocorridas com o tempo. No entanto, acrescenta o autor, informações sobre alterações na qualidade do solo podem ser obtidas comparando um ecossistema natural com áreas manejadas.

As incorporações de novas áreas ao processo produtivo, agropecuário ou florestal, sempre interferem na dinâmica de qualquer ecossistema (GODOI, 2001), sendo que nos sistemas agrícolas, com as introduções de espécies forrageiras ou agrícolas, podem ocorrer alterações de natureza, física, química e biológica do solo. Em geral as práticas agropecuárias são considerados como importante causa da degradação dos solos refletidas por alterações em seus atributos físicos, químicos e biológicos.

Desenvolver ou adaptar métodos para monitorar e avaliar o impacto antropogênico sobre os processos biológicos do solo e sobre os organismos que nele habitam, em condições de campo, é um desafio (FRIGHETTO; VALARINI, 2000).

Para Moreira e Siqueira (2006), embora índices e características considerados como indicadores nos estudos sobre qualidade do solo não sejam completamente elucidativos diante da complexidade do sistema edáfico, observa-se que, em muitos casos, a Ciência do Solo avançou e contribuiu significativamente no entendimento de processos biológicos importantes para a sustentabilidade agrícola e para qualidade ambiental.

Segundo Vieira e Silva (2009), a dificuldade na definição de índices de qualidade do solo decorre do fato de que algumas modificações no solo ocorrem após longo período de tempo e o declínio na sua qualidade pode ficar evidente apenas quando ocorre impactos cumulativos.

Qualquer índice de qualidade do solo deve incluir, segundo Frighetto e Valarini (2000), além dos índices convencionais, físicos e químicos, diversas variáveis biológicas e bioquímicas para que em conjunto, possam refletir os complexos processos que afetam a qualidade do solo e que esses parâmetros, analisados de forma integrada, devem, também, atender às necessidades pertinentes aos estudos e aos ecossistemas.

Conhecimentos dos processos de degradação e recuperação dos solos são de fundamental importância para a formatação de medidas capazes de utilizá-lo garantindo a sustentabilidade aos agroecossistemas. A sustentabilidade do solo pode ser estimada mediante avaliações periódicas de

indicadores relacionados aos processos de degradação ou recuperação destes solos (LANNA, 2002).

Dentre os atributos físicos, químicos e biológicos são citados (LAL, 1999):

A – Físicos:

- características mecânicas como textura, estrutura, distribuição de tamanho dos poros, compactação e adensamento, formação de crosta e solo superficial, infiltração de água e escoamento superficial;
- características hidrológicas, como propriedades de retenção e transmissão de água, drenagem superficial e subsuperficial;
- características térmicas, como capacidade e condutividade térmica que interagem com o clima e com o regime de umidade do solo, afetando o fluxo de calor.

B - Químicos:

- acidez: pH, acidez total, alumínio trocável e saturação de bases;
- capacidade e intensidade de nutrientes: capacidade de troca catiônica, carga elétrica, espécie e concentração de cátions permutáveis, sais solúveis e condutividade elétrica;
- propriedades húmicas, como teor da carbono orgânico.

C – Biológicos:

- Macrofauna: minhocas, térmitas, centípodas, milípodas, entre outros animais maiores;
- Microbiota: bactérias, fungos, actinomicetos, algas, protozoários;
- Substâncias húmicas: biomassa do solo ou fração ativa, fração lábil e fração húmica, passiva ou estável.

Entre os principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo estão (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007):

A - Físicos:

- Estrutura do solo: relacionado com a retenção e transporte de água no solo e nutrientes;

- Densidade do solo: relacionado com a porosidade do solo;
- Capacidade de retenção de umidade: relacionado com o armazenamento e disponibilidade de água.

B - Químicos:

- pH: relacionado com a atividade biológica e disponibilidade de nutrientes;
- Condutividade elétrica: relacionado com o crescimento vegetal e atividade microbiana;
- Teores de N, P e K: relacionado com a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

C - Biológicos:

- Biomassa microbiana: relacionada com a atividade microbiana e reposição de nutrientes;
- Mineralização de nutrientes (N, P, S): relacionados à produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes;
- Respiração do solo: parâmetro relacionado à atividade microbiana;
- Fixação biológica de nitrogênio: relacionada ao potencial de N para plantas;
- Atividade enzimática do solo: relacionada à atividade microbiana e catalítica no solo.

D - Matéria Orgânica: relacionado com a fertilidade, estrutura e estabilidade do solo.

A qualidade do solo, segundo Goedert e Oliveira (2007), aborda três correntes de estudo. A primeira visa identificar os melhores indicadores físicos, químicos e biológicos de funções que o solo deve cumprir; a segunda reconhece a matéria orgânica e seus compartimentos, como os melhores indicadores e a terceira desconsidera os indicadores e analisa os processos no sistema solo-planta, envolvendo o nível de organização dos componentes do solo. Os mesmos autores acrescentam que, no Brasil, a qualidade do solo tem sido mais abordada pela primeira corrente.

Doran e Parkin (1994) apud Goedert e Oliveira (2007) definem também, citando, três grupos de indicadores: efêmeros, que oscilam em curto espaço de

tempo, como temperatura, umidade, pH, teor de nutrientes, atividades de microorganismos; intermediários, que são aqueles que alteram após manejo do solo por alguns anos, como a densidade do solo, resistência a penetração, estabilidade de agregados, teor matéria orgânica; e permanentes que são os atributos inerentes ao tipo de solo, relacionados com a classificação dos solos, como a textura, mineralogia, profundidade e cor. Segundo os autores os indicadores “intermediários” tem sido os mais utilizados para monitorar a qualidade do solo em decorrência de não sofrerem variações e bruscas e por terem boa reprodutibilidade em seus métodos de avaliação.

Os indicadores de qualidade do solo devem considerar os seguintes aspectos: facilidade de medição, capacidade de resposta às mudanças, limite claro entre condições de sustentabilidade e não-sustentabilidade e relação direta com requerimentos de qualidade do solo (GOEDERT; OLIVEIRA, 2007). Peixoto (2008) define que os indicadores da qualidade do solo devem apresentar características que facilitem sua utilização como: capacidade de medir respostas nas funções básicas do solo sensíveis as variações de manejo; possibilidade de aplicação no campo; representativas de atributos físicos, químicos e biológicos.

Relacionado às atividades agrícolas, segundo Gomes e Filizola (2006), os indicadores físicos assumem importância por estabelecerem relações com processos hidrológicos e função essencial no armazenamento e suprimento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo, destacando entre os principais indicadores físicos de qualidade do solo a textura, estrutura, resistência a penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível, percolação ou transmissão da água. Peixoto (2008) destaca a estrutura do solo como o principal atributo físico do solo, pois a partir de impactos sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas outras características físicas como densidade, porosidade do solo, aeração, retenção e transporte de água e nutrientes que são fundamentais para capacidade produtiva do solo.

Carvalho et al. (2007) destacam como indicadores químicos da qualidade do solo a matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica (CTC), o pH, a percentagem de saturação de alumínio (m%) e percentagem de saturação de bases (V%). Gomes e Filizola (2006), destacam como de interesse agrícola o pH, o carbono orgânico, a capacidade de troca catiônica

efetiva, a disponibilidade de nutrientes às plantas.

Relacionado aos indicadores biológicos, considerando a atividade metabólica de microorganismos do solo, estes podem ser sensíveis indicadores de serviços ou distúrbios ocasionados ao solo por processos agropecuários (LANNA, 2002; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Segundo De-Polli e Pimentel (2005), dentre alguns dos indicadores mais utilizados destacam-se a biomassa microbiana, a respiração basal do solo e o quociente metabólico.

Em alguns casos, alterações na população e atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um sinal na melhoria ou degradação do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Estes autores destacam como indicadores biológicos a biomassa microbiana, a respiração do solo, a fixação biológica de N<sub>2</sub> e as atividades de enzimas do solo. O Quadro 1 apresenta as principais enzimas utilizadas para avaliação da qualidade do solo.

**Quadro 1** – Principais enzimas indicadoras da qualidade do solo.

<b>Enzimas do solo</b>	<b>Reação enzimática</b>	<b>Atividade indicadora</b>
Desidrogenase	Sistema de transporte de elétrons	Atividade microbiana
B-glucosidase	Hidrólise da celobiose	Ciclagem de carbono
Celulase	Hidrólise de celulose	Ciclagem de carbono
Uréase	Hidrólise da uréia	Ciclagem de nitrogênio
Amidase	Mineralização do N	Ciclagem do N
Fosfatase	Liberação de PO	Ciclagem do P
Arisulfatase	Liberação de SO <sub>4</sub>	Ciclagem de S
FDA	Hidrólise Atividade enzimática	Atividade enzimática

Fonte - Araújo e Monteiro (2007).

Os estudos visando a identificação de indicadores eficientes para o estado de sanidade do solo ou a qualidade do solo tem sido intensos, resultando em vários resultados de pesquisa (MARZALL; ALMEIDA, 1999; PASSOS; PIRES, 2008; VIEIRA; SILVA, 2009). Entretanto, embora não sendo uma demanda nova, existe uma premente necessidade de avaliar indicadores de sustentabilidade que possam melhor caracterizar e quantificar os prejuízos ou serviços ambientais prestados por diferentes formas de sistemas agropecuários Amazônicos.

## 2.6 ANÁLISE MULTIVARIADA NA INTERPRETAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO

Na avaliação da qualidade do solo, em alguns estudos, índices tem sido propostos baseados em modelos matemáticos que combinam características físicas, químicas e biológicas indicadoras de qualidade, às quais, geralmente, se atribuem pesos de acordo com sua importância. Estes índices obtidos pretendem elucidar a inter-relação entre características reconhecidamente importantes e a qualidade do solo associada à produção vegetal sustentada, qualidade ambiental e saúde humana e animal (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A avaliação dos possíveis indicadores de qualidade do solo e sua efetiva identificação são dificultadas pela quantidade dos fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos biogeoquímicos e suas variações no tempo, espaço e intensidade (DORAN; SARRANTONIO; JANKE, 1994). Dessa maneira, técnicas estatísticas têm sido aplicadas para identificar e quantificar os indicadores que causam influência significativa sobre os resultados dos experimentos.

Velasquez et al. (2007), em pesquisas conduzidas na Colômbia e Nicarágua, para avaliar a qualidade do solo em ecossistemas de 54 propriedades, utilizou um método que denominou "General Indicator of Soil Quality (GISQ)", onde cinco chamados sub-indicadores, compreendendo características físicas, químicas, qualidade e estoque de matéria orgânica, morfologia (relacionada a contribuição de agregados) e comunidade de macroinvertebrados do solo são associados e analisados em estatística multivariada, sendo definidos índices de qualidade do solo para constatação de degradação ou serviços dos sistemas praticados.

Em outro estudo, Casalinho et al. (2007), avaliando a qualidade do solo em sistemas de produção com base agroecológica praticados no Rio Grande do Sul, propôs e aplicou o Método Integrativo de Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS), cuja base é fundamentada na análise integrada de um conjunto mínimo de atributos físicos, químicos, biológicos e visuais do solo, indicadores de qualidade do solo.

Carneiro et al. (2009), avaliando os efeitos de sistemas de manejo e uso do solo nos atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho

distrófico e de um Neossolo Quartzarênico órtico sob Cerrado, no entorno do Parque Nacional das Emas, em Goiás, concluíram que os atributos do solo, isoladamente, pouco contribuíram para a avaliação da qualidade do solo, no entanto, a análise integrada dos atributos com a análise estatística multivariada, permitiu a constatação dos manejos do solo mais sustentáveis.

A análise dos componentes principais foi utilizada para avaliar o uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, no Paraná, por meio de indicadores de qualidade de solo e água (LEONARDO, 2003). O quociente metabólico foi o indicador microbiológico que melhor se prestou para a diferenciação das práticas agrícolas.

Trabalhando com atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais, Silveira, Melloni e Pereira (2004) empregaram a análise dos componentes principais. O uso dessa ferramenta permitiu concluir que os atributos estudados (densidade de fungos e bactérias, microrganismos solubilizadores de fosfato, carbono da biomassa, atividades microbianas e pH) foram considerados bons indicadores da recuperação de solos de áreas degradadas. Além disso, permitiu comprovar que a recuperação dessas áreas estava fortemente limitada por parâmetros microbiológicos e bioquímicos do solo.

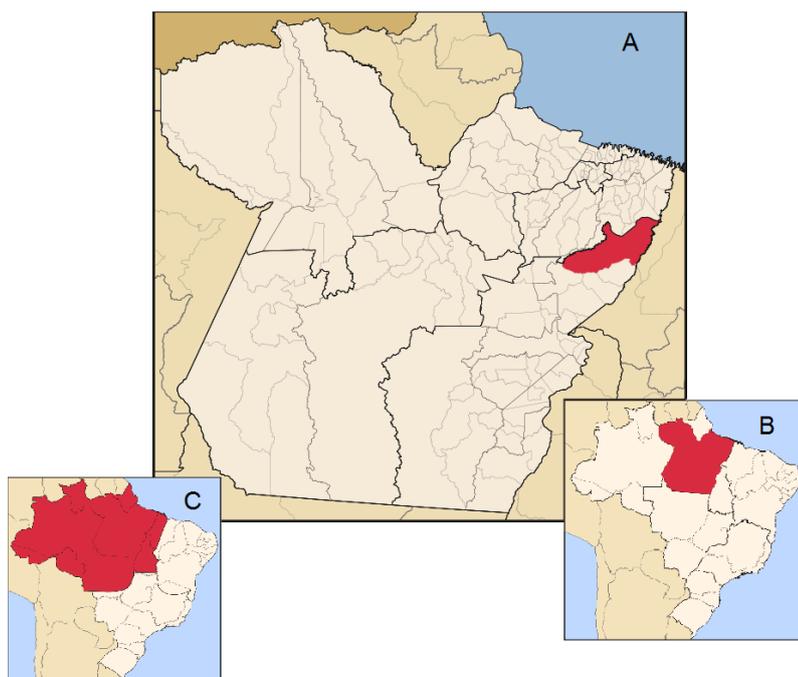
Em estudo realizado em áreas com *Araucária angustifolia* no Estado de São Paulo, analisou por meio de técnicas de análise multivariada, a possibilidade de utilização de alguns grupos da fauna edáfica e das variáveis ambientais como indicadores da qualidade do solo. Verificou-se que as diferentes técnicas de análises multivariadas, entre elas, a análise de componentes principais, são importantes ferramentas no estudo de indicadores de qualidade do solo em áreas com araucária e que o carbono da biomassa microbiana e a liberação de CO<sub>2</sub> foram os melhores indicadores entre os atributos microbiológicos (BARETTA, 2007).

Sena et al. (2002) enfatizam a necessidade do uso de métodos multivariados na área de solos, os quais, comparados com métodos univariados e bivariados, ampliam a capacidade de extração e interpretação de dados das análises. Dessa maneira, a análise das componentes principais torna-se uma ferramenta de grande valor na determinação de indicadores mais sensíveis na avaliação da qualidade do solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

O município de Paragominas, Estado do Pará, está situado na mesorregião do Sudeste Paraense e microrregião de Paragominas, Estado do Pará, Amazônia oriental, com área de aproximadamente 19.234 km<sup>2</sup>. A Figura 1 contextualiza o Município de Paragominas no Estado do Pará, na Amazônia Legal e no Brasil.



**Figura 1** - Localização do Município de Paragominas no Estado do Pará, na Amazônia Legal, e no Brasil. Fonte: IBGE, 2008.

A vegetação primitiva que recobre a superfície é representada pela floresta equatorial subperenifólia densa. As condições de clima predominante na área é do tipo Aw, ou seja, tropical chuvoso com estação seca bem definida, segundo a classificação de Köppen, temperatura média anual de 26,5<sup>0</sup>C, com temperaturas elevadas todo ano; regime pluviométrico de duas estações, uma chuvosa e outra seca, com média em torno de 1.802 mm. A umidade relativa do ar é bastante elevada com média anual em torno de 82 % (RODRIGUES et al., 2003a). A Tabela 4 apresenta dados meteorológicos da Estação do Município de Paragominas-Pará, no período de 1980 a 1988, com médias mensais de temperatura (máxima, mínima e média), precipitação

pluviométrica e umidade relativa do ar, além da média anual do total pluviométrico no supracitado período (RODRIGUES et al., 2003a).

As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente por todo o ano, sendo a maior concentração entre os meses de janeiro a maio, restringindo a esse período o ano agrícola da região, considerando a agricultura sem irrigação. O período de junho a novembro corresponde aos meses de menor precipitação pluviométrica. Apesar do mês de dezembro apresentar um total pluviométrico com média de 122 mm, em geral as chuvas no mês se definem a partir do último terço do mês, isto é, nos últimos dez dias.

O balanço hídrico na região, segundo Bastos et al. (2010), demonstra que, em geral, a chuva excede a evapotranspiração de referência de fevereiro a maio resultando em um excesso de água acima de 600 mm, enquanto que de junho a dezembro a chuva é abaixo da evapotranspiração, ocorrendo um déficit de água para o desenvolvimento de plantas, acima de 400 mm.

**Tabela 3** - Dados meteorológicos da Estação do Município de Paragominas-Pará, no período de 1980 a 1988<sup>12</sup>, e dados meteorológicos do ano de 2008<sup>3</sup>.

Meses	Temperatura °C				Precipitação Total				Umidade Relativa	
	Máxima		Mínima		Média		(mm)		(%)	
	80-88	2008	80-88	2008	80-88	2008	80-88	2008 <sup>4</sup>	80-88	2008
Janeiro	32,5	31,3	22,2	22,6	25,8	25,6	230	220,0	83	82,0
Fevereiro	31,8	31,2	22,2	22,3	25,8	25,5	331	315,2	86	82,0
Março	32,0	30,7	22,4	22,4	25,8	25,2	400	552,8	86	84,0
Abril	32,2	30,9	22,4	22,6	26,3	25,5	311	292,4	86	83,9
Maio	32,5	31,5	22,2	22,5	26,2	25,8	139	162,4	84	83,0
Junho	32,4	31,8	20,9	21,5	26,6	25,6	64	42,5	81	78,0
Julho	32,8	33,1	20,4	19,9	25,6	25,6	22	4,8	81	71,0
Agosto	33,5	34,0	20,6	21,2	26,0	26,4	30	9,4	79	70,0
Setembro	33,8	34,1	21,2	21,9	27,3	27,2	33	17,4	78	67,0
Outubro	33,9	35,0	21,6	22,1	26,8	27,8	53	8,2	77	62,0
Novembro	33,5	34,4	22,1	22,5	27,8	27,8	57	57,8	79	65,0
Dezembro	33,3	33,1	21,9	22,7	27,5	27,0	122	177,8	80	72,0
Média Anual	32,8	32,6	21,7	22,0	26,5	26,3	1802	1860,7	82	75,0

<sup>1</sup> Fonte: Rodrigues et al., 2003a.

<sup>2</sup> Na precipitação total, o valor 1802 corresponde a média anual do total pluviométrico no período.

<sup>3</sup> Fonte: Estação Automática do Município de Paragominas. Latitude: -3,01028°. Longitude: -47,3431°. Altitude: 101 metros.

<sup>4</sup> Na precipitação total, o valor 1860,7 corresponde ao total pluviométrico do ano.

No ano de 2008, os valores climáticos observados foram compatíveis com a média da região, considerando as médias de temperatura e o total pluviométrico. Entretanto, relacionado a distribuição de chuvas, o ano de 2008 apresentou, nos meses mais secos, consideráveis reduções nos totais

pluviométricos mensais, com ênfase para os meses de julho a outubro, associados a redução na umidade relativa do ar entre os meses de setembro a novembro.

Segundo Rodrigues et al.(2003a), os solos são desenvolvidos de material originário de rochas sedimentares da Formação Ipixuna. O relevo é plano e suave ondulado a forte ondulado. Segundo os mesmos autores, os principais solos mapeados em Paragominas são: Latossolo Amarelo textura média e muito argilosa (15.650,99 km<sup>2</sup>), Argissolo Amarelo (531,93 km<sup>2</sup>); Plintossolo (169,69 km<sup>2</sup>); Gleissolo (97,08 km<sup>2</sup>); Neossolo (9,76 km<sup>2</sup>). Com relação a fertilidade e características físicas, os solos de Paragominas em sua maioria são de baixa fertilidade natural, porém, de boas propriedades físicas. Os Latossolos de texturas média e argilosa são dominantes em Paragominas abrangendo 81,38 % da área municipal, apresentando-se adequados para o uso agrícola (Rodrigues et al., 2003b).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado nas Fazendas Vitória e Nova Paz, em áreas localizadas aproximadamente a 6 e 3 Km da cidade de Paragominas (Praça dos Continentes), respectivamente, ambas à margem esquerda da Rodovia PA – 125 no sentido da cidade de Paragominas para a BR 010 (Belém-Brasília).

Na Fazenda Vitória a principal atividade é a pecuária de corte, ocorrendo também cultivos de grãos, principalmente, milho e arroz, uma vez que utilizam-se na propriedade sistemas de integração lavoura-pecuária para renovação de pastagens. Conforme a situação da pastagem, a opção é feita pelo Sistema Barreirão ou Sistema Santa Fé, ambos preconizados pela Embrapa (KLOUTHCOUSKI; STONE; AIDAR, 2003). A técnica do pastejo rotacionado também é praticada na propriedade (COSTA et al., 2000). O gado bovino utilizado na propriedade é predominantemente da raça Nelore, sendo o rendimento animal da propriedade de, aproximadamente, 320 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com a carga animal variando de 1,5 a 3 UA.ha<sup>-1</sup>, dependendo da época do ano e condição da pastagem. Os animais recebem suplementação mineral com o produto Bovifós gado de corte com um consumo de 65 g. animal<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

Na Fazenda Nova Paz a principal atividade é a pecuária de leite. O gado bovino utilizado no sistema é mestiço com a raça holandesa. A área de pastagem na propriedade é toda composta por braquiária (*Braquiária brizantha*). Faz-se uso na propriedade de pastejo rotacionado, com pousio no piquete de aproximadamente 35 dias. A carga animal é de 0,8 UA.ha<sup>-1</sup>. A produtividade leiteira é de 8 litros.vaca<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Os animais recebem suplementação mineral com o produto Bovifós 90 gado de leite enriquecido com potássio, com consumo na base de 50 g. animal<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> e também recebem silagem de milho na base de 5 kg. animal<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.

A Figura 2 apresenta a localização das áreas em estudo no “software” Google Earth, em imagem registrada em 01 de julho de 2005. As legendas na imagem correspondem aos sistemas de uso do solo avaliados em 2008. Considerando o histórico das áreas, em 2005 o pasto com mombaça já estava formado e a área indicada como milho teria sido cultivada com arroz e ocorrido a colheita.



**Figura 2** - Imagem de parte da região próxima a cidade de Paragominas, contemplando as áreas com os diferentes sistemas de uso do solo avaliados no presente estudo.

Os solos em todos os sistemas de uso avaliados foram classificados como Latossolo Amarelo Distrófico coeso, textura muito argilosa, A moderado, com relevo plano a suavemente ondulado (RODRIGUES et al., 2003a;

SANTOS et al., 2006). As análises granulométricas são apresentadas na Tabelas 4.

**Tabela 4** - Análises granulométricas dos solos sob os diferentes sistemas de uso, 2009.

Sistemas de Uso	Profundidade (cm)	Granulometria (g/kg)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total
Mata	0 -30	8	28	144	820
	30-60	6	22	132	840
	60-100	11	45	225	720
	100-150	14	59	207	720
Braquiária	0 -30	6	17	138	840
	30-60	4	15	121	860
	60-100	12	44	204	740
	100-150	20	89	271	620
Mombaça	0 -30	6	24	311	660
	30-60	5	17	258	720
	60-100	19	48	293	640
	100-150	25	87	348	540
Milho	0 -30	8	31	261	700
	30-60	6	24	250	720
	60-100	19	51	331	600
	100-150	28	89	344	540

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE USO DO SOLO

Quatro sistemas de uso do solo foram avaliados, sendo três na Fazenda Vitória e um na Fazenda Nova Paz, correspondente a área com Braquiária, os quais tiveram suas coordenadas geográficas e altimetria registradas através do equipamento GPS Etrex–Garmin :

- Reflorestamento Natural (Mata) - Altitude: 138 m; Latitude: S 02° 57' 46,1"; Longitude: W 47° 23' 10,8".
  - A área possui um histórico de reflorestamento natural com um tempo, aproximadamente, de 30 anos (Figura 3). O uso desta área no presente estudo teve como objetivo servir de referência na comparação de alterações possivelmente identificadas nos demais sistemas avaliados (MENDES et al., 2003; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esta área, usada como referencial, situa-se na mesma fazenda, sendo próxima, a área estudada por Davidson et al. (2004). Portanto, é provável que seus históricos tenham situações comuns, embora não se constituam a mesma área

segundo relato do proprietário e empregados antigos da Fazenda. Dessa maneira, a área estudada por Davidson et al. (2004) apresentava em seu histórico um plantio de *Panicum maximum*, provavelmente, pastagem de colômbio, tendo sido abandonada em 1984. O reflorestamento natural que sucedeu o abandono da área, apresentava um histórico de queima acidental em sua parte periférica e rasteira, decorrente do uso de fogo para renovação de pastagens adjacentes, no ano de 1993.



**Figura 3** - Reflorestamento natural com tempo aproximado de 30 anos. Fazenda Vitória-Paragominas-Pará.

- Plantio de Milho (Milho) - Altitude: 101 m; Latitude: S 02° 57' 29" ; Longitude: W 47° 23' 06".
  - Cultivo de milho híbrido Pioneer 30F80 em sistema convencional associado ao plantio de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) com objetivo de formar pastagem em sistema Santa Fé (KLUTHCOUSKI; AIDAR; COBUCCI, 2007), apresentando os antecedentes: 2004: pastagem em vias de degradação com braquiária (*Brachiaria brizantha*); 2005: plantio de arroz em

sistema convencional; 2006: pousio; 2007: plantio de arroz em sistema convencional; 2008: ano do presente estudo com processo anteriormente descrito (Figuras 4,5 e 6). A área recebeu aplicação de fertilizantes, sendo no arroz em 2007, 200 kg de N-P-K 08-28-16 por hectare, no plantio, e 100 kg de N-P-K 20-00-20 por hectare, em cobertura. Em 2008 no plantio de milho a adubação foi de 430 kg de N-P-K 08-28-16 por hectare, no plantio, e 250 kg de N-P-K 20-00-20 por hectare, em cobertura. Não foi realizado calagem. O rendimento do milho foi de 100 sacas de 60 kg por hectare.



**Figura 4** - Plantio de milho em sistema de integração lavoura-pecuária. Fazenda Vitória – Paragominas-Pará.



**Figura 5** - Formação de pastagem a partir de plantio de milho associado em sistema de integração lavoura pecuária, detalhe de pós-colheita do milho. Fazenda Vitória – Paragominas - Pará.



**Figura 6** - Sistema Santa Fé, integração lavoura-pecuária, detalhe de pastejo, após a colheita do milho. Fazenda Vitória – Paragominas – Pará.

- Pastagem de Mombaça (Mombaça) - Altitude:122 m; Latitude: S 02° 57' 47"; Longitude: W 47° 23' 14,6".
  - Pastagem cultivada com mombaça (*Panicum maximum*)

apresentando como antecedentes: 2002: Pastagem em vias de degradação com Braquiaria (*Brachiaria brizantha*); 2003: plantio de arroz ; 2004: plantio de arroz; 2005: plantio de milho associado ao plantio de capim Mombaça em sistema Barreirão (KLUTHCOUSKI; AIDAR; COBUCCI, 2007); 2006: pastagem de mombaça formada (Figura 7). Em janeiro de 2008, foi realizada uma adubação com 100 kg de N-P-K 10-30-10 por hectare.



**Figura 7** - Pastagem de mombaça formada a partir de plantios de arroz e milho em Sistema Barreirão. Fazenda Vitória-Paragominas-Pará.

- Pastagem de Braquiária (Braquiária) – Altitude: 132 m; Latitude: S 02° 58' 15,8"; Longitude: W 47° 22' 19,7".
  - Pastagem de Braquiária (*Brachiaria brizantha*) com tempo aproximado de dez anos, com antecedente de derruba e queima da floresta, provavelmente secundária, restabelecida após abertura e uso da terra que datam de 1960, como as fazendas vizinhas, tendo como exemplo a própria Fazenda Vitória estudada por Nepstad, UHL e Serrão (1991) sendo, presentemente, utilizada com pecuária leiteira (Figura 8). Em 2007, no início do período chuvoso na região, final do mês de dezembro, foi realizada adubação na pastagem, com o uso de 50 kg de cloreto de potássio por hectare e 50 kg de uréia por hectare.



**Figura 8** - Pastagem de Braquiária, com aproximadamente dez anos, utilizada com pecuária leiteira. Fazenda Nova Paz-Paragominas-Pará.

### 3.4 ÉPOCAS DE COLETA DO SOLO

As épocas de avaliação implicaram em coletas de solo em três períodos:

- Período chuvoso (abril/2008), ocasião em que a cultura de milho estava no campo;
- Período de transição entre o período chuvoso e o seco (julho/2008), no caso da área com grãos, um mês após a colheita;
- Período seco (novembro/2008), antecedente ao preparo de área para o plantio do ano seguinte, no caso da lavoura de grãos.

### 3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 4x3, sendo quatro os níveis do fator sistemas de uso do solo e três os níveis do fator épocas de coleta de solo (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). A análise de variância e a comparação entre as médias das variáveis estudadas para os fatores sistemas de uso e épocas de coleta foram feitas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm,

separadamente, sendo que, para estes procedimentos, fez-se uso do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000). Foi utilizada também estatística multivariada, através da análise de correlações entre variáveis e análise de componentes principais (MANLY, 2008), para identificar os parâmetros que melhor discriminaram as diferenças entre os sistemas e possíveis perdas ou serviços à qualidade do solo. A matriz de correlação linear foi calculada pelo método de Spearman.

Em cada área de tratamento foram estabelecidas 4 (quatro parcelas) de 6m x 12m (72 m<sup>2</sup>), as quais corresponderam a 4 repetições. De cada parcela foram retiradas 5 amostras simples de solo que formaram uma amostra composta por parcela, as quais corresponderam as repetições, sendo este procedimento feito a cada profundidade. As parcelas, em cada sistema de uso e tanto quanto possível entre os sistemas de uso do solo, foram distribuídas em áreas adjacentes, com o objetivo de se dispor do mesmo tipo de solo (Tabela 4).

### 3.6 VARIÁVEIS ANALISADAS

**A - Químicas:** pH em H<sub>2</sub>O; acidez trocável (Al); acidez potencial (H+Al); CTC efetiva do solo (t); CTC a pH 7 (T); percentagem de saturação de Al (m); soma de bases trocáveis (SB); percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 (V); matéria orgânica do solo (carbono orgânico do solo); teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e teores de Na.

O pH em H<sub>2</sub>O foi determinado pelo princípio da medição do potencial eletroquímico da concentração efetiva de íons H<sup>+</sup> na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água na proporção 1:2,5. A determinação da acidez potencial ocorreu pela extração com solução de acetato de cálcio e titulação alcalimétrica do extrato (SILVA et al., 2009).

Os teores de cálcio e magnésio são extraídos por KCl 1M, em conjunto com o alumínio, sendo a titulação do alumínio com NaOH, enquanto que o cálcio e o magnésio são titulados por complexometria com EDTA. Em uma terceira alíquota do extrato, foi feita a determinação do cálcio por complexometria com EDTA (SILVA et al., 1998; SILVA et al., 2009).

O teor de nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl por

destilação a vapor (EMBRAPA,1997). Os teores de fósforo, potássio e sódio foram determinados pelo método Mehlich 1, cuja solução extratora é constituída por uma mistura de HCl 0,05M+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125M. O fósforo foi determinado espectroscopicamente, enquanto que o potássio e o sódio pelo método direto através do fotômetro de chama (SILVA et al., 2009).

A matéria orgânica foi determinada pelo método volumétrico através do dicromato de potássio. O cálculo da matéria orgânica ocorreu pela fórmula onde: matéria orgânica(g/kg) = Carbono orgânico(g/kg) x 1,724. O cálculo é fundamentado admitindo-se que na composição da matéria orgânica, o carbono orgânico participa com 58% (EMBRAPA, 1997).

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Análises de Solos e Tecidos da Embrapa Amazônia Oriental. Os cálculos relacionados a soma de bases trocáveis, CTC efetiva, CTC a pH 7, percentagem de saturação de alumínio e percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 foram realizadas de acordo com Lopes e Guidolin (1989).

**B – Bioquímicas e Biológicas:** atividade da enzima urease (KANDELER; GERBER, 1988); atividade da enzima fosfatase (EIVAZI; TABATABAI, 1977) ; teor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (KEMPERS; ZWEERS, 1986) e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (YANG et al, 1998); fósforo (total e orgânico) (MURPHY; RILEY, 1962); respiração basal (ALEF, 1995); umidade do solo (EMBRAPA, 1997); carbono da biomassa microbiana pelo método da fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987); nitrogênio da biomassa microbiana (BROOKES et al, 1985); quociente respiratório (ANDERSON; DOMSCH, 1993; SILVA et al., 2007); matéria seca de liteira (SILVA, 2009); contagem de esporos fungos micorrízicos arbusculares (GERDEMANN; NICOLSON, 1963; JENKINS, 1964).

As análises foram realizadas no Laboratório Integrado de Análises de Processos Biofísicos e Biogeoquímicos da Embrapa Amazônia Oriental.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 INDICADORES QUÍMICOS DE QUALIDADE DO SOLO

#### 4.1.1 Matéria Orgânica

A Tabela 5 e a Figura 9 apresentam os resultados relacionados aos teores de matéria orgânica no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

**Tabela 5** - Teores de matéria orgânica (g/kg) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média	
0-5 cm	Abril	33,92 A a	32,86 A a	34,22 A a	29,66 A a	32,66 B	
	Julho	46,87 A a	42,83 A a	47,01 A a	38,88 A a	43,90 A	
	Novembro	46,47 A a	38,77 A a	43,24 A a	31,58 A a	40,01 A	
Média	42,42 a	38,15 ab	41,49 a	33,37 b	38,86		
CV (%) = 18,60		DMS1 = 7,95		DMS2 = 6,25 <sup>2</sup>			
5-10 cm	Abril	24,42 A a	24,58 A a	21,85 A a	28,28 A a	24,78 B	
	Julho	28,43 A a	35,78 A a	32,04 A a	36,76 A a	33,25 A	
	Novembro	33,11 A a	32,05 A a	23,96 A a	21,31 A a	27,61 B	
Média	28,65 a	30,80 a	25,95 a	28,78 a	28,55		
CV (%) = 21,80		DMS2 = 5,38 <sup>2</sup>					
10-20 cm	Abril	16,83 A a	18,29 A a	15,78 A a	17,97 A a	17,22 B	
	Julho	22,00 A a	27,33 A a	27,96 A a	26,99 A a	26,07 A	
	Novembro	20,47 A a	17,88 A a	17,91 A a	15,69 A a	17,99 B	
Média	19,77 a	21,17 a	20,55 a	20,22 a	20,42		
CV (%) = 18,93		DMS2 = 3,34 <sup>2</sup>					
20-30 cm	Abril	14,90 A b	16,12 B b	24,94 A a	12,54 B b	17,12 B	
	Julho	17,24 A b	26,19 A a	20,54 A ab	24,80 A a	22,19 A	
	Novembro	16,97 A a	16,97 B a	13,38 B a	10,65 B a	14,49 B	
Média	16,37 a	19,76 a	19,62 a	16,00 a	17,94		
CV (%) = 19,59		DMS2 = 3,04		DMS3 = 6,69		DMS4 = 6,07 <sup>2</sup>	
Valores de F <sup>3</sup>							
Fontes de Variação		Profundidades (cm)					
		0-5	5-10	10-20	20-30		
Sistema de Uso (SU)		3,844*	1,228ns	0,279ns	4,006ns		
Época de Coleta (E)		9,969***	7,686**	25,739***	19,869***		
SU x E		0,410ns	2,268ns	1,554ns	6,973***		

<sup>1</sup>Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Considerando o efeito de sistemas de uso, foi observado diferença significativa apenas na profundidade de 0 a 5 cm, sendo a maior diferença entre o teor de matéria orgânica do solo sob mata e cultivado com mombaça comparado ao solo cultivado com milho. Os teores de matéria orgânica dos solos sob pastagens tanto de mombaça como de braquiária não diferiram do solo sob mata. O teor de matéria orgânica do solo sob braquiária não diferiu significativamente do solo cultivado com milho.

Foram observadas diferenças significativas em todas as profundidades avaliadas para o fator época. Na profundidade de 0 a 5 cm o menor teor de matéria orgânica ocorreu no mês de abril, enquanto os valores observados nos meses de julho e novembro, com maiores teores, não diferiram significativamente entre si. Para as profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, o mês de julho foi o que apresentou os maiores teores de matéria orgânica, enquanto os valores observados nos meses de abril e novembro, com menores teores, não apresentaram diferenças significativas.

O efeito da interação entre os fatores avaliados ocorreu somente na profundidade de 20 a 30 cm. Nesta profundidade, exceto no solo de mata, onde não foram observadas diferenças significativas, foram observadas diferenças em todos os sistemas de uso. Na pastagem com mombaça, o menor teor de matéria orgânica no solo ocorreu no mês de novembro, enquanto que os maiores valores verificados nos meses de abril e julho, quando comparados entre si, não diferiram. Nos solos cultivados com braquiária e milho os maiores teores de matéria orgânica ocorreram em julho, enquanto que os menores teores ocorreram em abril e novembro, os quais não apresentaram diferenças significativas quando comparados.

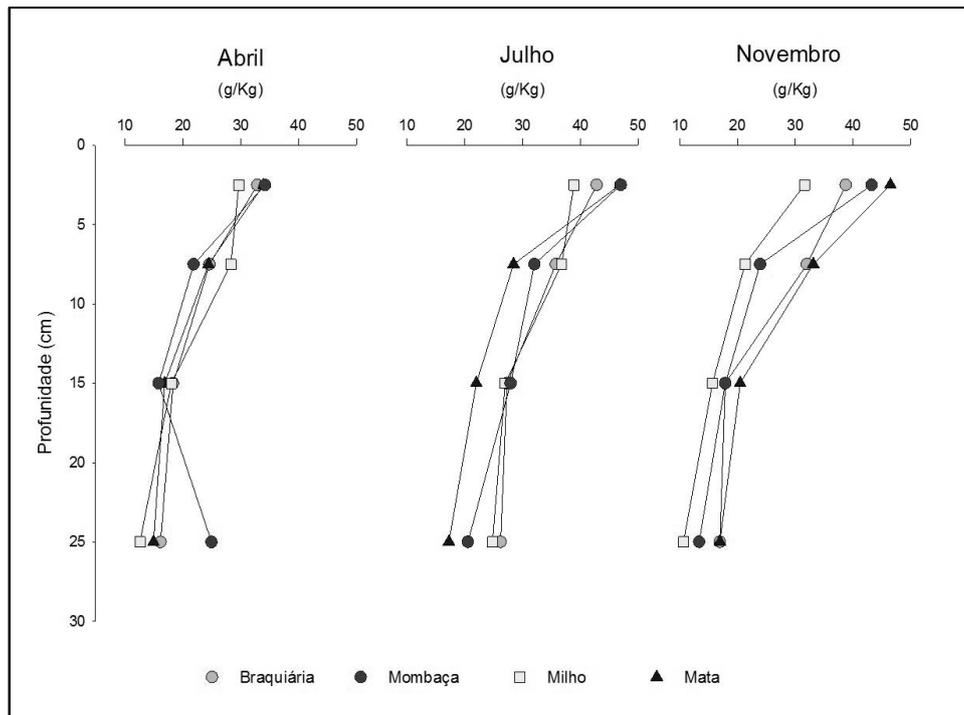
Considerando o efeito de sistemas de uso em cada época na profundidade de 20 a 30 cm, no mês de abril, o maior teor de matéria orgânica no solo ocorreu na pastagem com mombaça, enquanto que os teores observados nos solos sob mata, braquiária e cultivado com milho, com menores teores, não apresentaram diferenças significativas. Em julho, as diferenças nos teores de matéria orgânica ocorreram entre os solos cultivados com milho e braquiária, com maiores valores, comparados com os solo sob mata, com o menor valor, enquanto que o teor de matéria orgânica no solo cultivado com mombaça não apresentou diferença significativa em relação aos

demais sistemas de uso avaliados.

No presente estudo, os resultados na profundidade de 0 a 5 cm, demonstraram que os teores de matéria orgânica nas pastagens foram equivalentes aos teores registrados na área de mata. Bernoux et al. (1999), observaram em uma cronosequência de floresta tropical-pastagem em Paragominas que, com o desmatamento e a conseqüente introdução de pastagem, houve no solo diminuição progressiva do carbono remanescente da floresta e um aumento do carbono proveniente da pastagem. Considerando que o carbono orgânico participa em 58% na composição da matéria orgânica (EMBRAPA, 1997), apesar da implantação das pastagens, os solos desses sistemas, a partir do carbono orgânico proveniente, provavelmente, das próprias pastagens, tiveram seus teores de matéria orgânica equilibrados comparados ao teor observado na área de mata.

A situação observada na profundidade de 0 a 5 cm, onde os teores de matéria orgânica nas pastagens foram equivalentes aos teores registrados na área de mata, pode estar relacionada também ao fato de que as áreas de pastagens oriundas de áreas desmatadas na Amazônia podem funcionar como fonte de carbono, quando degradadas, ou dreno, quando bem manejadas (FEARNSIDE; BARBOSA, 1998; CERRI; FEIGL; CERRI, 2008), situação que também decorre da forte correlação da espécie com o balanço de carbono no solo, sendo que áreas com *Brachiaria humidicola* tendem a perder carbono, enquanto que áreas com *Panicum maximum* e *Brachiaria brizantha*, tendem a armazenar carbono (CERRI; FEIGL; CERRI., 2008). Dessa maneira, tratando-se de sistemas de uso com pastagens de mombaça (*Panicum maximum*) e braquiária (*Brachiaria brizantha*), as espécies, possivelmente, contribuíram para a melhoria no teor de matéria orgânica no solo.

O maior teor de matéria orgânica observado no mês de julho, sob a análise isolada do fator época, coincide com o início do período seco, onde a deposição de resíduos pós colheita do milho são acentuadas, adicionados a maior queda de folhas na mata (LUIZÃO, 2007). O mês de julho coincide também com o período imediatamente subsequente ao final do período chuvoso (maio/junho), onde a produção de biomassa vegetal é acentuada e a atividade microbiana é intensa, face as altas temperatura e umidade (GARCIA, 2007).



**Figura 9** - Teores de matéria orgânica em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Na interação observada na profundidade de 20 a 30 cm, onde nos meses de abril e julho, as pastagens de mombaça e braquiária apresentaram maiores teores de matéria orgânica no solo, estes resultados podem estar relacionados aos resultados de trabalhos apresentados por Cerri, Feigl e Cerri (2008) onde, em algumas situações, o teor de carbono no solo em pastagens são maiores, sendo a origem do carbono da própria pastagem, além da eficiência das espécies como dreno de carbono.

As diferenças observadas no teor de matéria orgânica no solo para o efeito de época nas pastagens de braquiária e mombaça e, também no milho, na profundidade de 20 a 30 cm, onde o maior teor de matéria orgânica foi observado em julho, pode ser atribuído morte de raízes decorrente da época seca (Tabela 3). A morte de raízes representa importante fonte de carbono para o solo em ecossistema de vegetação rasteira, como o de pastagens (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo Salton et al. (2005), em até 60 cm de profundidade são quantificados cerca de 90% da biomassa radicular e do carbono orgânico do solo de ecossistemas de pastagens. Estudando a organização do solo e distribuição radicular em pastagens de *Panicum maximum*, em Jacundá, e *Brachiaria humidicola*, em Manaus, Estados do Pará

e Amazonas, respectivamente, Guimarães et al. (2010) observaram que 70 a 80% do sistema radicular dessas pastagens estavam distribuídos no solo em até 20 cm de profundidade.

No presente estudo, em geral, considerando a média dos diferentes sistemas de uso, os teores de matéria orgânica, na profundidade de 0 a 5 cm, são considerados altos no solo da mata e no solo do mombaça, sendo que no solo cultivado com milho e braquiária são classificados como médios, classificação que se conserva nas profundidade de 5 a 10 e 10 a 20 cm, em todos os sistemas de uso. Na maior profundidade avaliada, em todos os sistemas, os teores de matéria orgânica foram considerados baixos (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ,1999).

#### **4.1.2 Nitrogênio**

A Tabela 6 e Figura 10 apresentam os resultados relacionados aos teores de nitrogênio nos solos, analisados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

O efeito de sistemas de uso, foi observado apenas na profundidade de 0 a 5 cm. Nas profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, não ocorreram diferenças significativas entre os teores de nitrogênio em relação ao fator sistema de uso do solo. Na profundidade de 0 a 5 cm, a maior diferença ocorreu entre o teor de nitrogênio do solo sob mata e solo cultivado com milho, com maior e menor teor, respectivamente. Os solos sob pastagens tanto de mombaça como de braquiária não diferiram entre si e apresentaram posições intermediárias comparadas aos dois teores extremos.

Relacionado ao fator época de coleta foram observadas diferenças significativas em todas as profundidades avaliadas. Na profundidade de 0 a 5 cm, a maior diferença ocorreu entre os meses de julho e abril, sendo o maior e menor teor de nitrogênio ocorreu no mês de julho e abril, respectivamente, cujos valores observados não diferiram do valor no mês de novembro. Para as profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm, o mês de julho foi o que apresentou os maiores teores de nitrogênio, sendo que nas profundidades de 5 a 10 cm e 20 a 30 cm os teores de nitrogênio no solo registrados nos meses de abril e novembro, não apresentaram diferenças significativas. Na profundidade

de 10 a 20 os teores observados apresentaram uma seqüência decrescente em seus valores correspondentes aos meses de julho, abril e novembro.

**Tabela 6** - Teores de nitrogênio (g/kg) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	0,58 A a	0,41 A a	0,47 A a	0,32 A a	0,44 B
	Julho	0,70 A a	0,54 A a	0,59 A a	0,49 A a	0,58 A
	Novembro	0,64 A a	0,53 A a	0,55 A a	0,34 A a	0,51 AB
Média		0,64 a	0,49 b	0,54 b	0,38 c	0,51
CV (%) = 15,78		DMS1 = 0,09 DMS2 = 0,07 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	0,35 A a	0,33 A a	0,39 A a	0,42 A a	0,37 B
	Julho	0,48 A a	0,39 A a	0,43 A a	0,43 A a	0,43 A
	Novembro	0,41 A a	0,35 A a	0,35 A a	0,33 A a	0,36 B
Média		0,41 a	0,36 a	0,39 a	0,39 a	0,39
CV (%) = 14,69		DMS2 = 0,05 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	0,33 A a	0,28 A a	0,31 A a	0,30 A a	0,30 B
	Julho	0,39 A a	0,33 A a	0,35 A a	0,40 A a	0,37 A
	Novembro	0,26 A a	0,23 A a	0,28 A a	0,25 A a	0,26 C
Média		0,33 a	0,28 a	0,31 a	0,32 a	0,31
CV (%) = 14,43		DMS2 = 0,04 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	0,27 AB a	0,26 AB a	0,27 AB a	0,20 B a	0,25 B
	Julho	0,31 A ab	0,29 A b	0,31 A ab	0,37 A a	0,32 A
	Novembro	0,23 B a	0,22 B a	0,24 B a	0,26 B a	0,23 B
Média		0,27 a	0,25 a	0,27 a	0,28 a	0,27
CV (%) = 15,10		DMS2 = 0,03 DMS3 = 0,08 DMS4 = 0,07 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0-5	5-10	10-20	20-30	
Sistema de Uso (SU)		20,915***	2,123ns	2,298ns	0,689ns	
Época de Coleta (E)		10,690***	7,175**	25,515***	20,846***	
SU x E		0,649ns	1,565ns	0,821ns	2,833*	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

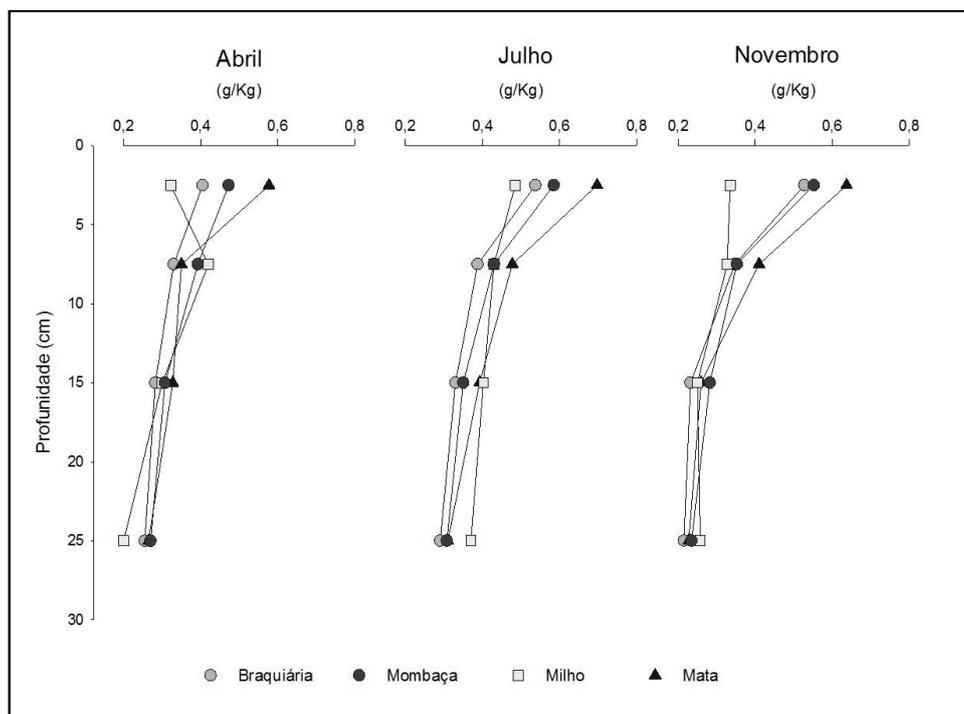
<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

O efeito da interação entre os fatores avaliados ocorreu somente na profundidade de 20 a 30 cm. Nesta profundidade, as maiores diferenças nos teores de nitrogênio ocorreram entre os meses de julho e novembro, na mata e nas pastagens de braquiária e mombaça, com o maior teor em julho e o menor teor em novembro, sendo que os teores registrados em abril nestes mesmos sistemas de uso do solo não apresentaram diferenças significativas comparados aos dois teores extremos. No solo cultivado com milho o maior teor de

nitrogênio foi em julho, enquanto que os menores teores ocorreram nos meses de abril e novembro, os quais não apresentaram diferenças significativas entre si.

Quanto ao efeito da interação relacionado ao fator sistema de uso em cada época na profundidade de 20 a 30 cm, somente em julho ocorreram diferenças significativas entre os teores de nitrogênio no solo. O maior e menor teor corresponderam aos valores observados no milho e na braquiária, respectivamente. Os teores observados na mata e na pastagem de mombaça não diferiram entre si e também não diferiram dos teores nos solos cultivados com milho e braquiária.



**Figura 10** - Teores de nitrogênio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

O maior teor e menor teor de nitrogênio no solo da mata e no solo cultivado com milho, respectivamente, na profundidade de 0 a 5 cm, pode estar associado ao mesmo efeito observado no teor de matéria orgânica para os citados sistemas de uso à mesma profundidade, onde o teor de matéria orgânica no solo sob mata foi maior que o teor registrado no solo cultivado com milho (Tabela 5), indicando que o maior teor de matéria orgânica determinou também maior mineralização de nitrogênio orgânico (CANTARELLA, 2007;

CAMARGO et al., 2008) e também, no caso do milho, os menores teores podem ser, adicionalmente atribuídos às extrações e exportações pela cultura.

Nas condições do presente estudo, o maior teor de nitrogênio observado em julho, em todas as profundidades avaliadas, pode ser explicado pelo efeito do período seco, onde julho correspondeu ao mês de menor precipitação (Tabela 3), de menor umidade no solo e, portanto de menor exigência de plantas e microrganismos no sentido de extração de nitrogênio no solo e imobilização, respectivamente, em conformidade com o exposto por Dias-Filho (2007), o qual comenta que uma situação adicional predisponente à perda de nitrogênio no solo reside no fato de que no período de seca a demanda por planta e microrganismos é reduzida. Dessa maneira, a menor demanda possibilita maior acúmulo e maior teor no solo. Em adição ao exposto, Carvalho (2006), avaliando a conversão do Cerrado para fins agrícolas na Amazônia e seus impactos no solo e no ambiente, observou que na estação seca ocorreu mineralização do nitrogênio, enquanto na estação chuvosa ocorreu imobilização no solo. Esta situação observada por Carvalho (2006), possivelmente, contribuiu para o aumento do teor de nitrogênio, podendo, nas condições do presente estudo, estar associada ao maior teor de nitrogênio no solo em julho, estação seca, conforme registrado.

O efeito da interação de época dentro de cada sistema de uso, na profundidade de 20 a 30 cm, foi correspondente ao observado na avaliação isolada do efeito de época, onde os maiores teores de nitrogênio em todos os sistemas de uso do solo avaliados foram registrados no mês de julho.

As diferenças observadas entre os sistemas de usos no mês de julho, onde o teor de nitrogênio no solo cultivado com milho foi maior que no solo cultivado com braquiária pode ser atribuída a contribuição da adubação nitrogenada realizada no milho, em cujo cultivo, considerando o plantio e a cobertura, recebeu 98 Kg de N por hectare.

#### **4.1.3 Fósforo**

A Tabela 7 e Figura 11 apresentam os resultados relacionados aos teores de fósforo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

**Tabela 7** - Teores de fósforo (mg/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	3,25 A bc	2,75 A c	4,00 A b	6,00 A a	4,00 A
	Julho	1,00 B b	1,75 A b	2,00 B b	3,25 B a	2,00 C
	Novembro	2,25 A b	2,00 A b	3,75 A a	4,25 B a	3,06 B
Média		2,17 c	2,17 c	3,25 b	4,50 a	3,02
CV (%) = 20,08		DMS1 = 0,67		DMS2 = 0,52	DMS3 = 1,16	DMS4 = 1,05 <sup>2</sup>
5-10 cm	Abril	3,00 A a	2,75 A a	3,50 A a	4,25 A a	3,38 A
	Julho	1,00 A a	1,25 A a	1,50 A a	2,75 A a	1,63 B
	Novembro	2,25 A a	2,00 A a	3,25 A a	3,75 A a	2,81 A
Média		2,08 bc	2,00 c	2,75 b	3,58 a	2,60
CV (%) = 24,99		DMS1 = 0,72		DMS2 = 0,56 <sup>2</sup>		
10-20 cm	Abril	3,00 A a	3,00 A a	3,00 A a	3,50 A a	3,13 A
	Julho	1,00 C b	1,00 C b	1,00 B b	2,25 B a	1,31 C
	Novembro	2,25 B b	2,00 B b	3,00 A a	3,50 A a	2,69 B
Média		2,08 b	2,00 b	2,33 b	3,08 a	2,38
CV (%) = 13,13		DMS1 = 0,34		DMS2 = 0,27	DMS3 = 0,59	DMS4 = 1,12 <sup>2</sup>
20-30 cm	Abril	3,00 A a	2,25 A b	3,00 A a	3,00 A a	2,81 A
	Julho	0,75 C b	1,00 B b	1,00 B b	2,00 B a	1,19 C
	Novembro	2,00 B b	2,00 A b	2,75 A a	3,00 A a	2,44 B
Média		1,92 bc	1,75 c	2,25 b	2,67 a	2,15
CV (%) = 16,01		DMS1 = 0,38		DMS2 = 0,30	DMS3 = 0,65	DMS4 = 0,59 <sup>2</sup>
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		40,208***	15,262***	30,000***	16,647***	
Época de Coleta (E)		43,528***	30,148***	147,214***	98,118***	
SU x E		2,396*	0,508ns	4,071**	3,765**	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup> ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

O teor de fósforo nos solos dos sistemas de uso avaliados, apresentaram diferenças significativas em todas as profundidades estudadas. Na profundidade de 0 a 5 cm a maior diferença ocorreu entre o solo cultivado com milho, com o maior teor, e os solos sob mata e cultivado com braquiária com os menores teores, os quais não apresentaram diferenças significativas. O solo cultivado com mombaça apresentou um teor intermediário entre os dois extremos, com diferença significativa comparado aos demais sistemas de uso. Nas profundidades de 5 a 10 cm e 20 a 30 cm, o solo cultivado com milho apresentou o maior teor de fósforo, significativamente diferente dos demais sistemas de uso. Em uma seqüência decrescente, após o teor de fósforo no

solo cultivado com milho, apresentaram menores teores os solos sob mombaça, mata e braquiária, sendo observado diferença significativa entre o solo cultivado com mombaça e o cultivado com braquiária, enquanto que o teor de fósforo no solo da mata não diferiu do valor observado para o sistema de uso do solo com mombaça e braquiária. Na profundidade de 10 a 20 cm foi observada diferença entre o teor de fósforo no solo cultivado com milho, com o maior valor, e os teores de fósforo apresentados pelos demais sistemas de uso avaliados, os quais não apresentaram diferenças quando comparados entre si.

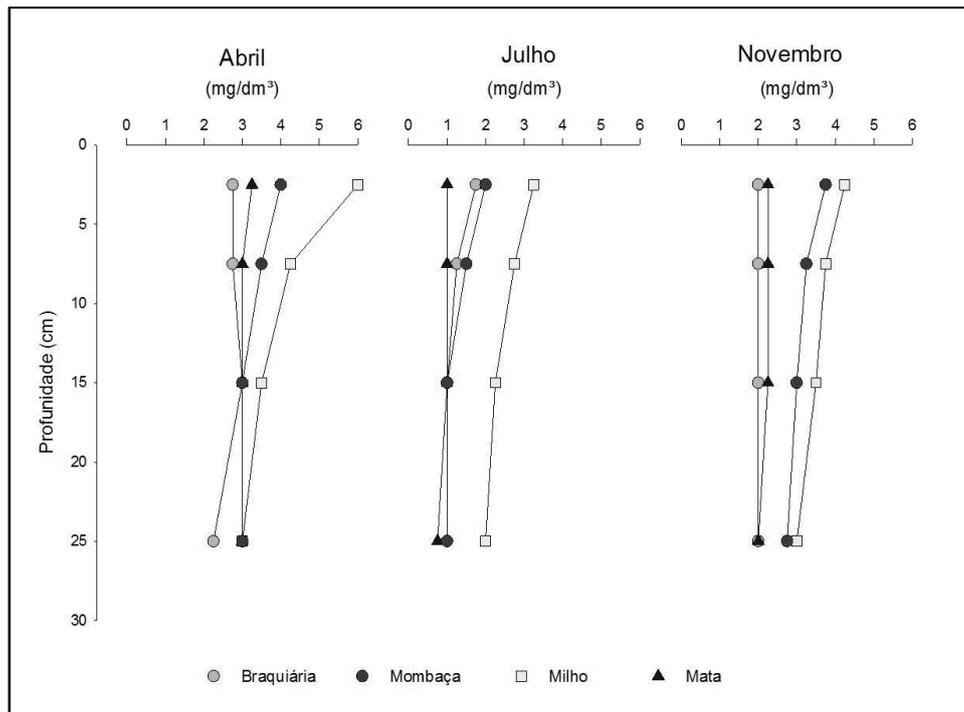
Quanto ao fator época, diferenças significativas ocorreram em todas as profundidades avaliadas. Nas profundidades de 0 a 5 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, o teor de fósforo no solo apresentou diferenças significativas com uma seqüência decrescente correspondente aos meses de abril, novembro e julho. Nos meses de abril e novembro, na profundidade de 5 a 10, foram observados os maiores teores de fósforo no solo, os quais não diferiram e foram superiores ao teor registrado no mês de julho.

Na interação, considerando o efeito de época dentro de cada sistema de uso avaliados, foram observadas diferenças significativas em todas as profundidades, exceto entre 5 a 10 cm. No solo sob mata e no cultivado com mombaça, na profundidade de 0 a 5 cm, o menor teor de fósforo ocorreu no mês de julho, enquanto que os maiores teores foram observados em abril e novembro, os quais não diferiram significativamente. Nesta mesma profundidade, no solo cultivado com milho, o teor de fósforo no mês de abril foi superior aos teores observados em julho e novembro que não apresentaram diferenças comparados entre si. No solo cultivado com braquiária não ocorreu diferença significativa, na profundidade de 0 a 5 cm, nas épocas consideradas. Na profundidade de 10 a 20 cm, no solo da mata e no cultivado com braquiária, diferenças significativas entre os teores de fósforo ocorreram em um sentido decrescente na seqüência dos meses de abril, novembro e julho. Nos solos cultivados com mombaça e milho os teores de fósforo no solo nos meses de abril e novembro não apresentaram diferenças significativas quando comparados e foram superiores ao teor observado em julho. Na profundidade de 20 a 30 cm, os teores de fósforo no solo nos meses de abril e novembro não apresentaram diferenças significativas quando comparados e foram superiores ao teor em julho, em todos os sistemas de uso avaliados, exceto no

solo da mata em que o maior teor ocorreu no mês de abril, sendo sucedido em uma seqüência decrescente por novembro e julho, com teores significativamente diferentes na comparação entre todos os meses.

Na avaliação do efeito de sistemas de uso do solo em cada época, diferenças significativas foram observadas nas profundidades de 0 a 5 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm. Entre 0 a 5 cm, no mês de abril, o maior teor de fósforo ocorreu no solo cultivado com milho, enquanto que na seqüência os teores ocorreram com valores decrescentes correspondente ao solo cultivado com mombaça, solo da mata e solo cultivado com braquiária, sendo que o teor de fósforo no solo da mata não apresentou diferença significativa quando comparado com os teores apresentados pelos solos cultivados com as pastagens tanto de mombaça quanto de braquiária, que, entretanto, apresentaram teores de fósforo diferentes entre si. No mês de julho, entre 0 a 5 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, os teores de fósforo nos solos da mata, cultivados com braquiária e mombaça, não apresentaram diferenças significativas quando comparados e foram significativamente inferiores ao teor verificado no solo cultivado com milho. No mês de novembro, entre 0 a 5 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, os maiores valores para o teor de fósforo no solo ocorreram nos solos cultivados com milho e mombaça que não apresentaram diferenças entre si e foram superiores aos teores nos solos da mata e cultivado com braquiária, os quais também não diferiram. Na profundidade de 10 a 20 cm, os teores de fósforo no solo apresentados pelos diferentes sistemas de uso avaliados no mês de abril não foram significativamente diferentes. Na profundidade de 20 a 30 cm, em abril o menor teor de fósforo no solo correspondeu ao solo cultivado com braquiária, enquanto que os demais sistemas de uso avaliados, apresentaram teores superiores, os quais, quando comparados, não foram diferentes significativamente.

As diferenças nos teores entre os sistemas de uso do solo são atribuídas ao manejo do solo em cada sistema, enfatizando que o efeito de diferentes tipos de manejo de solo em atributos do solo comparando sistemas de plantio direto, plantio convencional e pastagens com sistemas naturais tem apresentado diferenças nos teores de fósforo disponível (CARNEIRO et al., 2009).



**Figura 11** - Teores de fósforo em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

No presente estudo na interpretação de análise dos solos, considerando os altos teores de argila apresentados nos solos estudados (Tabela 4), os teores de fósforo no solo em todos os sistemas analisados são classificados como baixos (BRASIL; CRAVO, 2007). Entretanto, segundo trabalho realizado por Rodrigues et al. (2003a), caracterizando e classificando solos do Município de Paragominas, os valores registrados no presente estudo são superiores aos teores registrados no trabalho supracitado, para solos com a mesma classificação. Segundo Teixeira e Simão Neto (2000), grande parte das pastagens na Amazônia está assentada em dois tipos de solos, Latossolos e Podzólicos, os quais apresentam baixa fertilidade natural, com ênfase aos baixos teores de fósforo disponível. Por outro lado, Segundo Dias-Filho (2007) na Amazônia brasileira, em pastagem formadas em áreas originalmente sob florestas e que foram cortadas e queimadas, a disponibilidade inicial de fósforo no solo é relativamente alta, devido a deposição das cinzas e a decomposição da resíduos vegetais originais, entretanto, com o tempo, a disponibilidade de fósforo frequentemente diminui e, nessas condições, as gramíneas forrageiras respondem a adubação fosfatada. Cravo et al.(2007), em Paragominas, avaliando resposta da soja em Latossolo Amarelo muito argiloso, concluíram

que a carência de fósforo disponível no solo estudado, cujo teor inicial era de 2 mg. dm<sup>-3</sup>, foi limitante para o cultivo.

No manejo da fertilidade do solo dos sistemas avaliados no presente estudo, foram realizadas adubações no milho e no mombaça, com 126 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. ha<sup>-1</sup> e 30 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As diferenças observadas entre os sistemas de uso do solo e entre as épocas avaliadas, em análises isoladas destes fatores, podem ser atribuídas às contribuições das adubações, que no milho ocorreu por ocasião do plantio, no final do mês de dezembro, e na pastagem com mombaça ocorreu no início de janeiro, ambas correspondendo ao início do período chuvoso.

O menor teor de fósforo no solo em julho também pode ser atribuído ao efeito de mineralização da matéria orgânica, que em julho, período seco, é menor, haja vista que a ação de microrganismos do solo responsáveis pela decomposição e mineralização da matéria orgânica é diminuída face a menor umidade e maior temperatura no solo.

#### **4.1.4 Potássio**

A Tabela 8 e Figura 12 apresentam os resultados relacionados aos teores de potássio no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Os sistemas de uso do solo avaliados apresentaram diferenças significativas em todas as profundidades avaliadas. Nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, as diferenças mais acentuadas ocorreram entre os teores de potássio no solo cultivado com braquiária, com o maior valor, e os teores nos solos da mata e do milho, com os menores valores, os quais não apresentaram diferença significativa quando comparados. O teor de potássio apresentado no solo cultivado com mombaça não diferiu significativamente dos demais sistemas de uso avaliados, ocupando uma posição intermediária entre o maior valor observado e os menores valores.

Nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, a diferença mais acentuada ocorreu entre os teores de potássio no solo cultivado com braquiária, com o maior valor, e o teor no solo da mata, com o menor valor. O teor de potássio apresentado no solo cultivado com mombaça e com milho não

diferiram significativamente entre si e também dos demais sistemas de uso do solo avaliados, ocupando posição intermediária entre o maior valor observado e o menor valor.

**Tabela 8** - Teores de potássio ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	79,25 A a	98,25 A a	77,50 A a	61,00 B	79,00 B
	Julho	70,25 A a	96,00 A a	97,50 A a	58,50 B	80,56 B
	Novembro	64,75 A b	121,50 A a	115,00 A a	104,25 A b	101,38 A
Média		71,42 b	105,25 a	96,67 a b	74,58 b	86,98
CV (%) = 26,53		DMS1 = 25,38 DMS2 = 19,94 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	50,25 A a	81,50 A a	62,75 A a	48,75 A a	60,81 A
	Julho	48,50 A a	64,50 A a	77,50 A a	52,50 A a	60,75 A
	Novembro	38,25 A a	82,25 A a	63,75 A a	55,75 A a	60,00 A
Média		45,67 b	76,08 a	68,00 a b	52,33 b	60,52
CV (%) = 34,82		DMS1 = 23,18 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	40,25 A a	63,00 A a	47,25 A a	40,50 A a	47,75 A
	Julho	33,00 A a	57,50 A a	66,00 A a	46,25 A a	50,69 A
	Novembro	26,50 A a	57,75 A a	39,25 A a	55,75 A a	44,81 A
Média		33,25 b	59,42 a	50,83 a b	47,50 a b	47,75
CV (%) = 35,75		DMS1 = 18,78 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	33,00 A a	55,00 A a	42,00 A a	37,75 A a	41,94 A
	Julho	24,00 A a	53,25 A a	52,75 A a	44,25 A a	43,56 A
	Novembro	21,00 A a	45,25 A a	31,75 A a	44,75 A a	35,69 A
Média		26,00 b	51,17 a	42,17 a b	42,25 a b	40,40
CV (%) = 38,98		DMS1 = 17,32 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		6,188**	5,277**	4,885**	5,321**	
Época de Coleta (E)		4,690*	0,007ns	0,474ns	1,116ns	
SU x E		1,609ns	0,667ns	1,237ns	0,658ns	

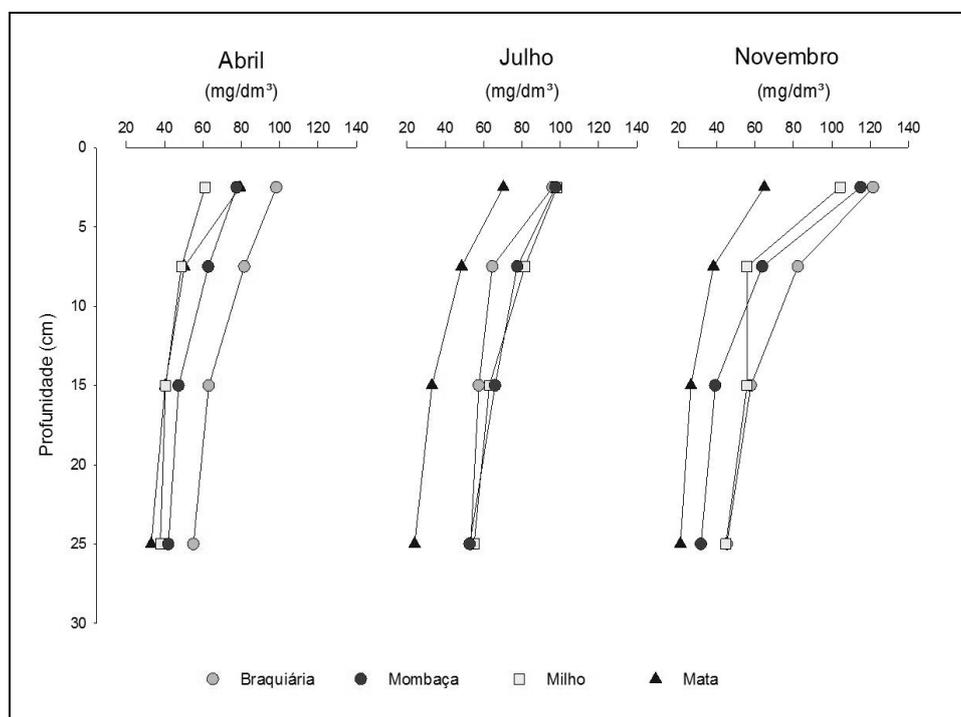
<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*( $P < 0,05$ ), \*\*( $P < 0,01$ ), \*\*\*( $P < 0,001$ ).

O efeito de época de coleta de solo foi observado somente na profundidade de 0 a 5 cm, onde no mês de abril ocorreu o menor teor de potássio no solo e nos meses de julho e novembro ocorreram os menores teores, os quais não diferiram entre si. Nas demais profundidades avaliadas não ocorreram diferenças significativas entre os teores observados nos meses avaliados. A interação entre os fatores sistemas de uso do solo e épocas de coleta, não apresentou nenhum efeito significativo nas profundidades avaliadas, exceto na profundidade de 0 a 5 cm onde no mês de novembro

diferenças significativas foram observadas entre os teores de potássio no solo da mata, com menor teor, comparado aos solos cultivados com com braquiária e mombaça, com maiores teores, enquanto que o solo cultivado com milho apresentou teor de potássio com valor intermediário, não diferindo significativamente dos teores observados nos solos dos demais sistemas de uso.



**Figura 12** - Teores de potássio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Analisando os teores nos sistemas de usos do solo nas diferentes profundidades de acordo com Brasil e Cravo (2007), observa-se que, nas profundidades de 0 a 5 cm, os teores observados nas pastagens são considerados muito altos, enquanto que no solo sob mata e no cultivado com milho, são altos. Nas pastagens, na profundidade de 5 a 10 cm os teores são altos, passando para médio nas duas últimas profundidades. Nos solos sob mata e cultivado com milho, na profundidade de 5 a 10 cm, os teores são médios, passando para teores baixos nas duas últimas profundidades.

Diferenças nos teores de potássio em diferentes sistemas de uso do solo são relatadas, assim como no presente estudo. Moreira e Malavolta (2004), comparando duas cronosseqüências (1 e 2) de uso do solo com área de

floresta primária, a de número 1, uma sucessão de floresta primária e cupuaçuza e a de número 2, uma sucessão de floresta primária - oito anos de pastagem com *Brachiaria humidicola*-cupuaçuza de 3 anos, observou diferenças no teor de potássio do solo na profundidade de 0 a 10 cm, com maiores valores para as áreas manejadas.

Em outro trabalho, Espíndola et al. (2001) observaram efeito de época em teores de potássio no solo sob pastagem com *Paspalum notatum*, sendo que os maiores teores de potássio foram observados na primavera e no verão.

No presente estudo, os maiores teores de potássio apresentados nos solos sob as pastagens de braquiária e mombaça, podem ser atribuídos a adubação realizada nas duas áreas, no início do período chuvoso (janeiro de 2008). Na pastagem com mombaça, foram aplicados 100 kg da fórmula N-P-K 10-30-10 por hectare, enquanto que, na pastagem com braquiária, foram aplicados 50 Kg de cloreto de potássio por hectare.

No solo cultivado com milho, embora adubado com 430 kg da fórmula N-P-K 10-30-10 por hectare, por ocasião do plantio, e 250 Kg da fórmula N-P-K 20-00-20 por hectare, por ocasião da cobertura, os menores teores observados comparado às pastagens, podem ser atribuídos a extração e exportação do nutriente pela cultura, associado a possibilidade de perdas por lixiviação, face ao preparo mecanizado da área e a exposição do solo após a colheita, haja vista a cobertura, ainda em formação, proporcionada pela pastagem com *Brachiaria ruziziensis*.

O efeito de época observado na profundidade de 0 a 5 cm, onde o mês de novembro apresentou o maior teor de potássio, pode ser explicado pelo fato da época corresponder ao final do período seco (Tabela 3), ocasião em que as culturas estão menos exigentes, restringindo a taxa de absorção pelas raízes e conseqüentemente permitindo um maior acúmulo de nutrientes no solo.

#### **4.1.5 Cálcio**

A Tabela 9 e Figura 13 apresentam os resultados relacionados aos teores de cálcio no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

**Tabela 9** - Teores de cálcio (cmol/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	4,08 A a	3,08 A a	4,05 A a	3,30 A a	3,63 A
	Julho	4,93 A a	3,58 A a	3,95 A a	3,53 A a	3,99 A
	Novembro	4,80 A a	3,10 A a	3,78 A a	3,43 A a	3,78 A
Média		4,60 a	3,25 b	3,93 ab	3,42 b	3,80
CV (%) = 26,02		DMS1 = 1,09 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	2,30 A a	2,38 A a	3,53 A a	3,00 A a	2,80 A
	Julho	2,85 A a	2,63 A a	2,93 A a	2,98 A a	2,84 A
	Novembro	2,83 A a	2,35 A a	2,55 A a	2,25 A a	2,49 A
Média		2,66 a	2,45 a	3,00 a	2,74 a	2,71
CV (%) = 29,02						
10-20 cm	Abril	1,48 A a	1,90 A a	2,90 A a	1,98 A a	2,06 A
	Julho	1,88 A a	2,13 A a	2,48 A a	2,53 A a	2,25 A
	Novembro	1,75 A a	1,65 A a	2,05 A a	1,83 A a	1,82 A
Média		1,70 a	1,89 a	2,48 a	2,11 a	2,04
CV (%) = 33,71						
20-30 cm	Abril	1,28 A a	1,85 A a	2,60 A a	1,60 A a	1,83 A
	Julho	1,20 A a	1,88 A a	2,13 A a	2,15 A a	1,84 A
	Novembro	1,30 A a	1,43 A a	1,85 A a	1,60 A a	1,54 A
Média		1,26 b	1,72 ab	2,19 a	1,78 ab	1,74
CV(%) = 31,38		DMS1 = 0,60 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		4,527**	1,003ns	2,794ns	5,900**	
Época de Coleta (E)		0,563ns	0,939ns	1,577ns	1,516ns	
SU x E		0,252ns	0,855ns	0,640ns	0,892ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

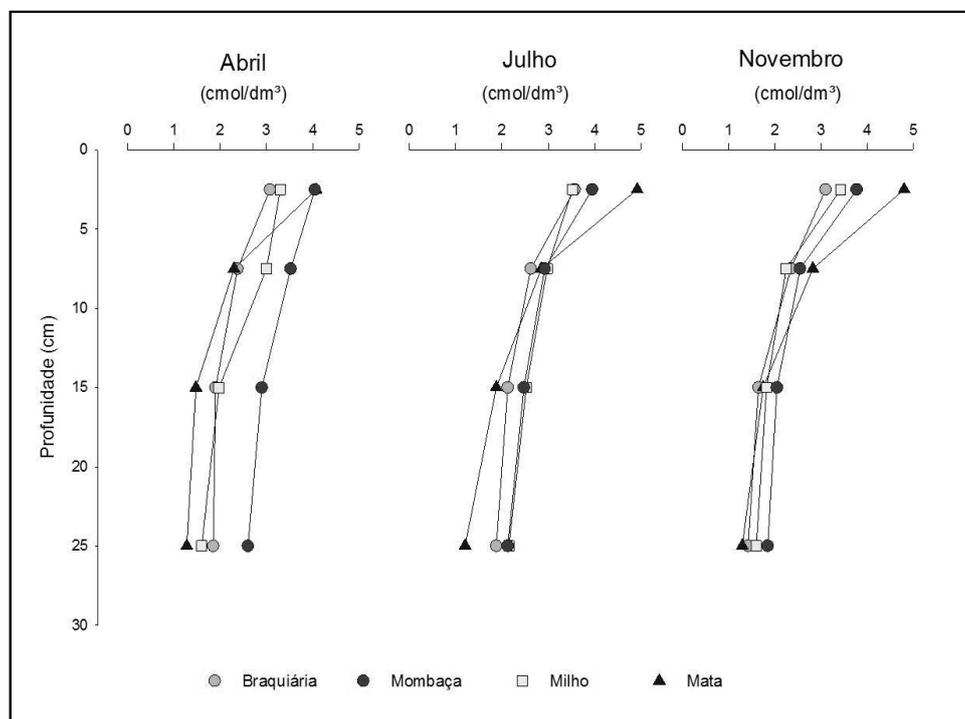
<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\* (P<0,001).

Diferenças significativas foram observadas nos diferentes sistemas de uso do solo nas profundidades de 0 a 5 cm e de 20 a 30 cm. Nas profundidades de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm não ocorreram diferenças significativas entre os sistemas de uso do solo avaliados. Na profundidade de 0 a 5 cm, as maiores diferenças ocorreram entre o teor de cálcio no solo da mata, com o maior teor, e os teores nos solos cultivados com milho e braquiária, com menores teores, os quais não apresentaram diferenças entre si. O solo cultivado com mombaça apresentou um teor de cálcio intermediário considerando os outros sistemas avaliados, sem diferir significativamente destes. Na profundidade de 20 a 30 cm, o maior teor foi observado no solo cultivado com mombaça e o menor teor no solo da mata, com os teores dos

solos cultivados com milho e braquiária apresentando teores intermediários sem diferença significativamente entre si e também comparados aos demais sistemas. Não ocorreram diferenças significativas em relação ao fator época.

Os resultados não apresentaram efeito de interação entre os sistemas de uso do solo e época de avaliação em todas as profundidades analisadas.



**Figura 13** - Teores de cálcio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Considerando efeito isolado dos sistemas de uso, os teores apresentados, exceto no solo da mata na profundidade de 0 a 5 cm e 20 a 30 cm, onde o teor foi alto e baixo, respectivamente, os teores são classificados como médios, em todas as profundidades, em todos os sistemas de uso (BRASIL; CRAVO, 2007).

Os teores de cálcio no solo avaliados no presente estudo estão consonantes com resultados observados por Rodrigues et al. (2003a), que em solos de Paragominas com a mesma classificação dos solos avaliados no presente trabalho, registraram teores que variaram entre 0,9 a 6,5 cmol/dm<sup>3</sup> em profundidades superficiais diversas conforme a disposição dos horizontes, porém com sensíveis quedas nos teores em maiores profundidades.

Falesi (1976), em estudo realizado em ecossistemas de pastagens

cultivadas na Amazônia, que incluiu a região de Paragominas, concluiu ser o cálcio o nutriente que mais contribuiu na percentagem de saturação de base na maioria dos solos de textura argilosa que foram analisados, registrando teores considerados altos em profundidades superficiais, cujas extensões variaram de acordo com os horizontes.

No presente estudo, as diferenças observadas entre os sistemas de uso na profundidade de 0 a 5 cm, onde o solo de mata apresentou o maior teor de cálcio, podem ser explicadas pelo efeito do processo de mineralização por ação de microrganismos, mais acentuado na superfície do solo em ambiente mais estável, enquanto no milho o menor valor pode ser atribuído a extração e exportação pela cultura, adicionada a falta da prática de calagem nas fertilizações químicas realizadas no plantio. Na profundidade de 20 a 30 cm, o menor teor observado no solo da mata, pode ser explicado pela mobilidade do cálcio no solo, que é considerada baixa. A maior alteração pela movimentação do solo nos demais sistemas, principalmente na área cultivada com milho, podem ter favorecido a melhor distribuição do cálcio no perfil, além da ciclagem natural proporcionada pela morte de raízes das pastagens, considerando a grande concentração nesta profundidade.

Segundo Dias-Filho (2007), em sistemas de pastagem para gado de corte na região tropical, somente o cálcio é regularmente adicionado ao sistema, pela suplementação mineral normalmente adotada com fosfato bicálcico e conseqüente excreção pelos animais juntamente com potássio e magnésio, sendo estes ingeridos, predominantemente, através do pastejo. Segundo o mesmo autor, a despeito do aumento do teor de cálcio, magnésio e potássio no solo, após a queima, e em seguida, com o tempo, diminuirão seus teores, na Amazônia, os teores desses nutrientes são mantidos relativamente altos e estáveis nos solos sob pastagens no decorrer dos anos.

O efeito de época no teor de cálcio no solo não ocorreu no presente estudo. Entretanto, contraria resultados obtidos por Pereira, Veloso e Gama (2000) que avaliando, por dois anos consecutivos, no período chuvoso e seco, propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*, observaram que os maiores teores de cálcio ocorreram no segundo ano e que neste ano os teores de cálcio no solo foram menores no período chuvoso. Os autores observaram também que os teores

mais elevados de cálcio no solo ocorreram na pastagem com *Panicum maximum*. Por outro lado, no presente estudo, os teores de cálcio observados nos solos cultivados com mombaça (*Panicum maximum*) e braquiária (*Brachiaria brizantha*) não foram diferentes.

#### 4.1.6 Magnésio

A Tabela 10 e Figura 14 apresentam os resultados relacionados aos teores de magnésio no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

**Tabela 10** - Teores de magnésio (cmol/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	1,58 A a	1,03 A a	1,25 A a	0,78 A a	1,16 A
	Julho	1,95 A a	1,13 A a	1,33 A a	0,78 A a	1,29 A
	Novembro	1,95 A a	1,18 A a	1,48 A a	0,83 A a	1,36 A
Média		1,83 a	1,11 bc	1,35 b	0,79 c	1,27
CV (%) = 28,47		DMS1 = 0,40 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	1,15 A a	0,75 A a	1,08 A a	0,73 A a	0,93 A
	Julho	1,15 A a	0,73 A a	0,98 A a	0,70 A a	0,89 A
	Novembro	1,33 A a	0,70 A a	0,80 A a	0,63 A a	0,86 A
Média		1,21 a	0,73 bc	0,95 b	0,68 c	0,89
CV (%) = 26,27		DMS1 = 0,26 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	0,85 A a	0,80 A a	0,78 A a	0,55 A a	0,74 A
	Julho	0,83 A a	0,58 A a	0,85 A a	0,53 A a	0,69 A
	Novembro	0,95 A a	0,55 A a	0,58 A a	0,50 A a	0,64 A
Média		0,88 a	0,64 bc	0,73 ab	0,53 c	0,69
CV (%) = 25,96		DMS1 = 0,20 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	0,68 A a	0,53 A a	0,70 A a	0,58 A a	0,62 A
	Julho	0,68 A a	0,53 A a	0,73 A a	0,50 A a	0,61 A
	Novembro	0,70 A a	0,45 A a	0,48 A a	0,50 A a	0,53 A
Média		0,68 a	0,50 b	0,63 ab	0,53 b	0,59
CV (%) = 23,52		DMS1 = 0,15 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação	Profundidades (cm)					
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30		
Sistema de Uso (SU)	17,453***	12,749***	8,092***	4,817**		
Época de Coleta (E)	1,284ns	0,289ns	1,233ns	1,890ns		
SU x E	0,253ns	0,704ns	1,405ns	0,982ns		

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\* (P<0,001).

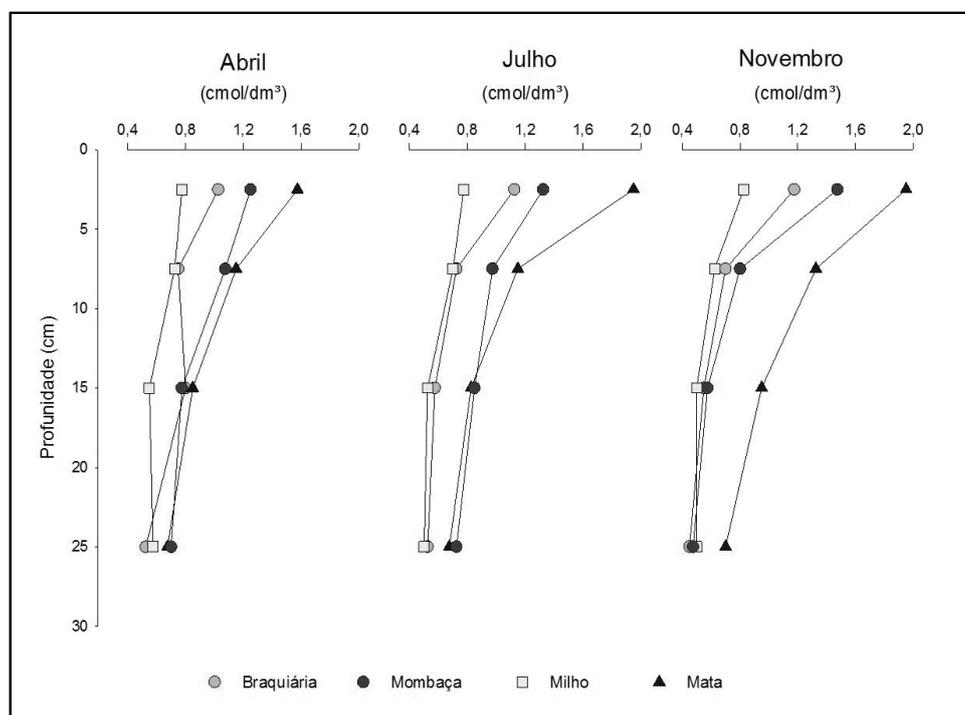
Considerando o efeito dos sistemas de uso do solo diferenças significativas foram observadas em todas as profundidades estudadas. Na profundidade de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, o maior teor de magnésio foi observado no solo da mata e o menor teor no solo cultivado com milho. Os solos cultivados com mombaça e braquiária ocuparam posições intermediárias entre os dois valores extremos, não diferindo significativamente entre si, sendo que o solo cultivado com braquiária não diferiu significativamente do solo cultivado com milho. Na profundidade de 10 a 20 cm, a diferença mais acentuada ocorreu entre o teor de magnésio apresentados pelo solo da mata, com o maior teor, e o teor apresentado pelo solo cultivado com milho. O teor de magnésio observado no solo cultivado com mombaça não foi diferente significativamente do teor no solo da mata e também não diferiu do teor no solo cultivado com braquiária, o qual também não diferiu do teor de magnésio no solo cultivado com milho. Na profundidade de 20 a 30 cm, os maiores teores de magnésio ocorreram no solo da mata e no solo cultivado com mombaça, sendo que este último sistema de uso não apresentou diferença significativa quando comparado com os solos cultivados com braquiária e milho.

O efeito de época no teor de magnésio no solo não foi observado em todas as profundidades avaliadas. Do mesmo modo, o efeito da interação entre sistema de uso do solo e época também não apresentou diferenças significativas em todas as profundidades avaliadas.

Considerando exclusivamente o efeito dos sistemas de uso, os teores de magnésio estão classificados na profundidade de 0 a 5 cm como alto no solo sob mata, e médios nos demais sistemas de uso. Nas outras profundidades analisadas, em todos os sistemas de uso estão classificados como médios, exceto no solo sob braquiária na profundidade de 20 a 30 cm (BRASIL E CRAVO, 2007).

Rodrigues et al. (2003a), em um trabalho de caracterização dos solos de Paragominas, em solos muito argilosos, registraram teores de magnésio que variaram entre 1,2 a 2,1 cmol/dm<sup>3</sup> em profundidades superficiais que variaram de 0 a 12 cm, conforme a disposição dos horizontes, porém observaram também sensíveis quedas nos teores em maiores profundidades. Desse modo, na profundidade de 0 a 5 cm os teores observados nos solos cultivados com milho e braquiária apresentaram valores abaixo dos teores registrados por

Rodrigues et al. (2003a), enquanto que na profundidade de 5 a 10 cm, exceto no solo da mata, todos os outros solos de sistemas de uso avaliados apresentaram teores abaixo dessa variação de teores registradas no supracitado trabalho.



**Figura 14** - Teores de magnésio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Em consonância com os resultados obtidos no presente estudo, diferenças nos teores de magnésio no solo tem sido observadas em diferentes sistemas de uso do solo. Meloni et al. (2008), observou maior teor de magnésio em solo sob pastagem de *Brachiaria decumbens* comparada ao solo de mata e de plantio de eucalipto e área de Araucária, enquanto que Pereira, Veloso e Gama (2000), em Latossolo Amarelo cultivado com *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*, constataram teores mais elevados de magnésio no solo sob pastagem com *Panicum maximum*.

Pereira, Veloso e Gama (2000), observaram também, comparando teores de magnésio no solo em diferentes épocas, que os maiores teores de magnésio ocorreram no período chuvoso. No presente estudo, variações nos teores de magnésio no solo relacionadas ao fator época não foram observadas.

Os maiores teores de magnésio no solo da mata em todas as

profundidades podem ser atribuídos à ciclagem natural do nutriente considerando a estabilidade do sistema. Nas condições das pastagens, os teores podem estar relacionados a uma estabilidade adquirida. De acordo com Dias-Filho (2007), em condições de pastagens na Amazônia, em geral, os teores de cálcio, magnésio e potássio são mantidos relativamente altos e estáveis nos solos no decorrer dos anos. Em decorrência disso, em algumas prescrições de adubação para pastagens não são recomendadas adubações com magnésio (TEIXEIRA; SIMÃO NETO, 2000). Ressaltando-se que, nas condições desse estudo, os teores observados foram classificados como médios. Quanto ao milho, os menores teores podem ser atribuídos a remoção por parte da cultura e também a falta de uso de calcário dolomítico no histórico das correções e adubações realizadas.

#### **4.1.7 Sódio**

A Tabela 11 e Figura 15 apresentam os resultados relacionados aos teores de sódio no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

O efeito dos sistemas de uso do solo no teor de sódio foi observado em todas as profundidades avaliadas. Nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, os efeitos foram semelhantes, onde as maiores diferenças ocorreram entre o solo cultivado com braquiária e solo cultivado com milho, com o maior e menor teor de sódio, respectivamente. Os solos da mata e cultivado com mombaça apresentaram valores intermediários, não diferindo significativamente entre si e também dos solos cultivados com braquiária e com milho.

Nas profundidades de 10 a 20 cm, as maiores diferenças foram observadas entre o solo cultivado com braquiária, com o maior teor, e os solos sob mata e cultivado com o milho, os quais não diferiram entre si, com os menores teores. O solo cultivado com mombaça não apresentou teor de sódio no solo com valor intermediário, entretanto, sem apresentar diferença significativa comparados aos demais sistemas de uso avaliados. Na profundidade de 20 a 30 cm, as diferenças mais nítidas ocorreram entre o solo cultivado com braquiária e o solo cultivado com o milho, com maior e menor teor de sódio, respectivamente. Os solos da mata e cultivado com mombaça

apresentaram valores intermediários e não apresentaram diferenças significativas quando comparados com os solos cultivados com braquiária e com milho.

**Tabela 11** - Teores de sódio ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	36,00 A a	35,00 Aa	28,50 Aa	23,00 Aa	30,63 AB
	Julho	31,50 A a	34,50 Aa	31,00 Aa	15,50 Aa	28,13 B
	Novembro	33,50 A a	58,50 Aa	37,75 Aa	28,50 Aa	39,56 A
Média		33,67 ab	42,67 a	32,42 ab	22,33 b	32,77
CV (%) = 32,28		DMS1 = 11,63 DMS2 = 9,14 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	26,50 A a	29,75 Aa	25,50 Aa	19,50 Aa	25,31 A
	Julho	23,25 A a	24,25 Aa	23,25 Aa	14,50 Aa	21,31 A
	Novembro	24,00 A a	44,25 Aa	22,00 Aa	19,50 Aa	27,44 A
Média		24,58 ab	32,75 a	23,58 ab	17,83 b	24,69
CV (%) = 33,90		DMS1 = 9,20 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	23,50 A a	25,25 Aa	21,50 Aa	16,00 Aa	21,56 A
	Julho	17,00 A a	22,00 Aa	23,50 Aa	13,50 Aa	19,00 A
	Novembro	16,50 A a	32,00 Aa	17,00 Aa	17,00 Aa	20,63 A
Média		19,00 B	26,42 a	20,67 ab	15,50 b	20,40
CV (%) = 25,76		DMS1 = 5,78 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	21,50 A a	22,75 Aa	19,50 Aa	15,50 Aa	19,81 A
	Julho	14,50 A a	21,00 Aa	18,25 Aa	12,50 Aa	16,56 A
	Novembro	14,50 A a	28,50 Aa	15,00 Aa	15,00 Aa	18,25 A
Média		16,83 ab	24,08 a	17,58 ab	14,33 b	18,21
CV (%) = 38,60		DMS1 = 7,73 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação	Profundidades (cm)					
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30		
Sistema de Uso (SU)	7,429***	6,467**	9,019***	4,195*		
Época de Coleta (E)	5,171*	2,210ns	0,974ns	0,856ns		
SU x E	1,359ns	1,570ns	2,361ns	0,786ns		

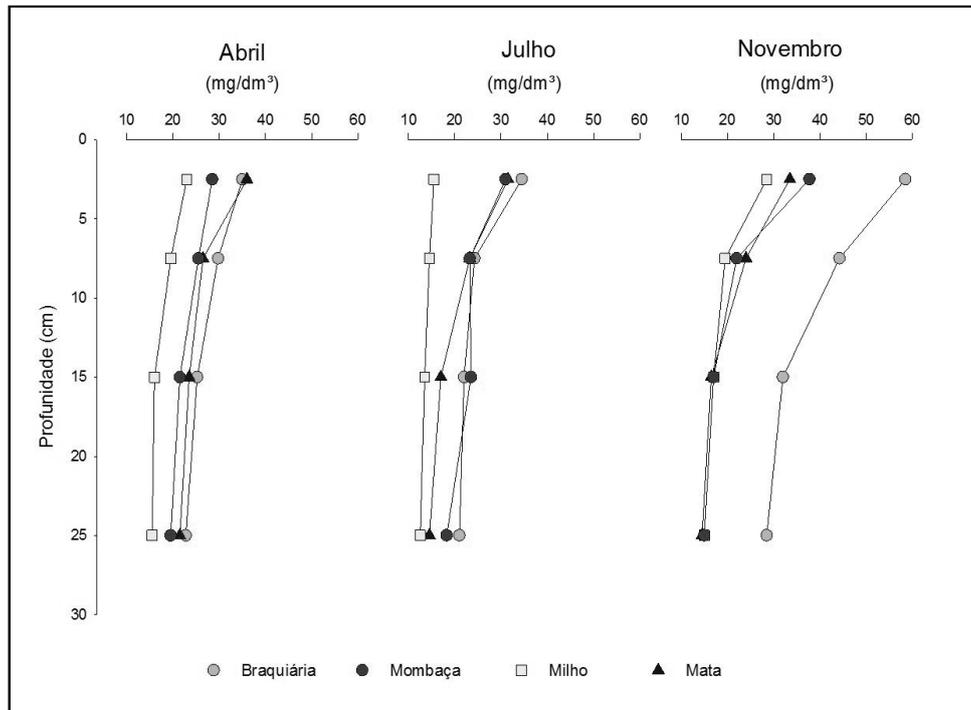
<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*( $P < 0,05$ ), \*\*( $P < 0,01$ ), \*\*\*( $P < 0,001$ ).

O efeito de época sobre os teores de sódio, ocorreram apenas na profundidade de 0 a 5 cm, onde o mês de novembro apresentou teor superior ao teor observado em julho. O teor de sódio no mês de abril não apresentou diferença significativa quando comparado com os meses de julho e novembro.

Os resultados demonstraram não haver interação entre os diferentes sistemas de uso do solo e épocas analisadas para o teor de sódio no solo, em todas as profundidades avaliadas.



**Figura 15** - Teores de sódio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Os maiores teores de sódio observados nos solos cultivados nas pastagens de braquiária e mombaça, admitem a possibilidade de entrada desse elemento no sistema através da suplementação mineral ofertada aos rebanhos e conseqüente transferência ao solo pelos excrementos animais. Segundo Dias-Filho (2007), a mineralização do gado consiste em uma das formas, assim como a calagem e adubações periódicas, de entrada de cátions nos sistemas de pastagens, principalmente de cálcio, mas também de potássio, magnésio e sódio, sendo que este último é de menor importância à nutrição de plantas.

Segundo Raij (1991), o sódio tem um comportamento no solo similar ao do potássio, sendo elemento facilmente removido do solo por lixiviação. Dessa maneira, o menor teor de sódio observado no solo cultivado com milho, pode ser atribuído a uma possível lixiviação, haja vista, a maior exposição do solo neste sistema de uso diante de seu revolvimento por ocasião do preparo para plantio, durante o ciclo da cultura e também logo após a colheita do milho.

#### 4.1.8 Alumínio

A Tabela 12 e a Figura 16 apresentam os resultados relacionados aos teores de alumínio no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

**Tabela 12** - Teores de alumínio (cmol/dm<sup>3</sup>) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	0,15 A a	0,13 A a	0,13 A a	0,30 A a	0,18 A
	Julho	0,28 A a	0,10 A a	0,10 A a	0,23 A a	0,18 A
	Novembro	0,20 A a	0,13 A a	0,10 A a	0,28 A a	0,18 A
Média		0,21 a b	0,12 b	0,11 b	0,27 a	0,18
CV (%) = 47,01		DMS1 = 0,13 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	0,43 A a	0,15 A a	0,13 A a	0,35 A a	0,26 A
	Julho	0,43 A a	0,13 A a	0,10 A a	0,23 A a	0,22 A
	Novembro	0,28 A a	0,15 A a	0,10 A a	0,40 A a	0,23 A
Média		0,38 a	0,14 bc	0,11 c	0,33 ab	0,24
CV (%) = 57,35		DMS1 = 0,20 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	0,50 A a	0,18 A a	0,13 A a	0,43 A a	0,31 A
	Julho	0,53 A a	0,18 A a	0,10 A a	0,28 A a	0,27 A
	Novembro	0,53 A a	0,23 A a	0,13 A a	0,43 A a	0,33 A
Média		0,52 a	0,19 bc	0,12 c	0,38 ab	0,30
CV (%) = 56,48		DMS1 = 0,25 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	0,53 A a	0,20 A a	0,13 A a	0,45 A a	0,33 A
	Julho	0,70 A a	0,18 A a	0,10 A a	0,30 A a	0,32 A
	Novembro	0,60 A a	0,25 A a	0,10 A a	0,43 A a	0,34 A
Média		0,61 a	0,21 bc	0,11 c	0,39 ab	0,33
CV (%) = 55,27		DMS1 = 0,27 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		5,051**	6,214**	7,441***	9,462***	
Época de Coleta (E)		0,000ns	0,241ns	0,249ns	0,044ns	
SU x E		0,566ns	0,553ns	0,139ns	0,329ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\* (P<0,001).

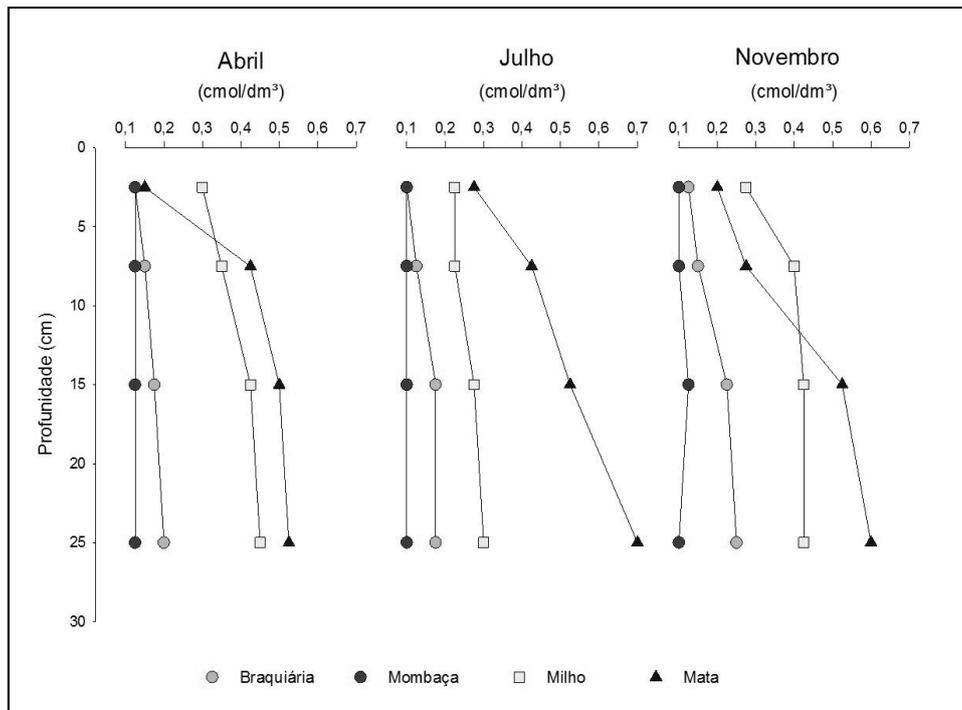
Entre os sistemas de uso do solo, na profundidade de 0 a 5 cm, os maiores teores de alumínio ocorreram nos solos cultivado com o milho e de mata, enquanto que os solos sob pastagens de braquiária e mombaça apresentaram os menores valores para os teores de alumínio sem, entretanto, diferirem significativamente entre si e também do solo da mata.

Na profundidade de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, as diferenças entre os sistemas de uso do solo ocorreram da mesma maneira, sendo o maior e menor teor de alumínio observado no solo da mata e no solo cultivado com mombaça. O teor de alumínio observado no solo cultivado com milho também foi maior, comparado ao teor no solo cultivado com mombaça, porém não diferiu significativamente dos teores nos solos da mata e no solo cultivado com braquiária, o qual, por sua vez, não apresentou teor de alumínio diferente do teor no solo cultivado com mombaça.

Considerando somente a época, não foram registradas diferenças significativas em nenhuma das profundidades avaliadas. Avaliando o teor de alumínio nos solos considerando a interação dos sistemas de uso e épocas estudadas, também não foram observadas diferenças significativas entre as médias.

Avaliando de acordo com Brasil e Cravo (2007), os teores de alumínio foram considerados baixos no solo de mata na profundidade de 0 a 5 cm e após essa profundidade, nas demais, foram considerados médios. Nos solos das duas pastagens estudadas, os teores de alumínio em todas as profundidades foram baixos. No solo cultivado com milho, em geral, a interpretação relacionada aos teores correspondeu ao observado no solo de mata, ou seja, na profundidade de 0 a 5 cm foi considerado baixo e nas demais profundidades foram considerados médios.

Falesi (1976), analisando solos em ecossistema de pastagens na Amazônia, em diferentes fazendas em Paragominas com Latossolo Amarelo de textura argilosa, em profundidades de até 40 cm, registrou teores de alumínio que variaram entre 0 a 1,6  $\text{cmol/dm}^3$ , sendo que a constatação da completa neutralização do alumínio ocorreram em fazendas cuja idade dos pastos variaram de 3 a 11 anos. Segundo o mesmo autor, após a queima de uma biomassa do tipo florestal, há uma incorporação de nutrientes no solo, principalmente cálcio, que participa com mais de 60% na soma de bases, além do magnésio, potássio, fósforo, elevação do pH com consequente total neutralização do alumínio.



**Figura 16** - Teores de alumínio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

No presente estudo, os menores teores de alumínio observados pelas pastagens tanto de braquiária como de mombaça, nas diferentes profundidades avaliadas, ocorreram, possivelmente, associados ao maior pH, também observado nesses sistemas de uso, conforme resultados na Tabela 13.

As diferenças observadas em relação aos maiores teores de alumínio nos solo de mata e no solo cultivado com milho comparado aos teores nos solo cultivados com as pastagens de braquiária e mombaça, provavelmente, decorrem, no caso dos menores teores registrados nas pastagens, do efeito de cinzas de queimadas anteriores, realizadas por ocasião do desmatamento e também para renovação das pastagens antes da implantação dos atuais sistemas de uso, cujos efeitos, portanto, são consonantes aos expostos por Falesi (1976).

Conforme relata Dias-Filho (2007), a despeito dos prejuízos causados pela queima das pastagens à fertilidade do solo, entre os efeitos da queima, acrescenta o autor, as cinzas oriundas da queima da biomassa, quando incorporadas ao solo promovem um aumento do pH. A solubilidade do alumínio diminui com o aumento do pH, haja vista, ser o nível de alumínio na solução do solo dependente do pH do solo (ALVAREZ V.; MELLO; DIAS, 1996).

No caso particular do solo cultivado com milho à supracitada situação, relacionada a superioridade no teor de alumínio do solo comparada aos solos das pastagens, soma-se o efeito de remoção das bases pela cultura.

O efeito de época de coleta no teor de alumínio no solo que não ocorreu no presente estudo foi diferente do resultado observado por Ferreira et al. (2001), os quais registraram, avaliando nutrientes no solo em floresta de terra firme na Amazônia central, diminuição nos teores de alumínio no solo da estação chuvosa para seca.

#### **4.1.9 pH em H<sub>2</sub>O**

A Tabela 13 e Figura 17 apresentam os resultados relacionados aos valores médios de pH em H<sub>2</sub>O no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

No efeito dos sistemas de uso do solo na profundidade de 0 a 5 cm, a diferença mais acentuada entre os valores de pH ocorreu entre o solo cultivado com braquiária e o solo cultivado com milho, com o maior e menor valor, respectivamente. O solo cultivado com mombaça não apresentou diferença significativa comparado ao solo cultivado com braquiária e com o solo da mata, o qual não diferiu do valor de pH verificado no solo cultivado com milho.

Nas profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, não ocorreram diferenças significativas entre os valores de pH nos solos cultivados com braquiária e mombaça, cujos valores de pH foram superiores aos valores no solo da mata e no solo cultivado com milho que não diferiram entre si.

Considerando somente a época, não foram registradas diferenças significativas em nenhuma das profundidades avaliadas. Os valores de pH dos solos nos diferentes fatores, sistemas de uso e épocas estudados, analisados mediante interação entre os fatores também não apresentaram diferenças significativas.

Considerando isoladamente os valores de pH dos solos nos sistemas de uso analisados, o valor de pH define uma acidez média, em todas as profundidades nos solos cultivados com braquiária, mombaça e milho, enquanto que no solo da mata, esse nível de acidez considerada média, ocorre nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, com as camadas mais profundas, de 10

a 20 cm e 20 a 30 cm, enquadrando-se em um nível de acidez elevada (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

**Tabela 13** - Valores de pH em H<sub>2</sub>O do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

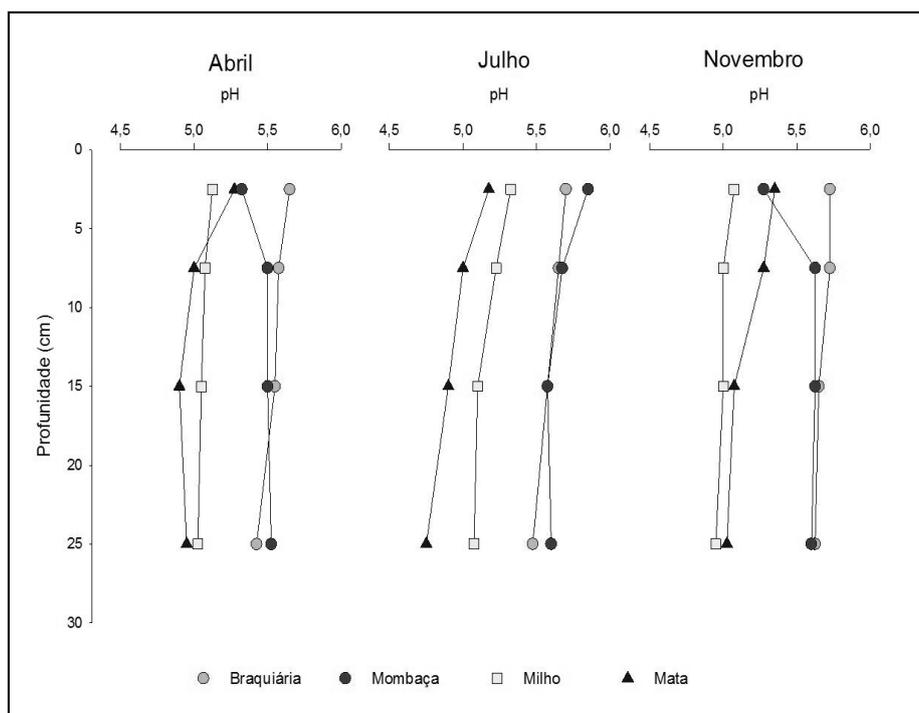
Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	5,28 A a	5,65 A a	5,33 A a	5,13 A a	5,34 A
	Julho	5,18 A a	5,70 A a	5,85 A a	5,33 A a	5,51 A
	Novembro	5,35 A a	5,73 A a	5,28 A a	5,08 A a	5,36 A
Média		5,27 bc	5,69 a	5,48 ab	5,18 c	5,40
CV (%) = 4,44		DMS1 = 0,36 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	5,00 A a	5,58 A a	5,50 A a	5,08 A a	5,29 A
	Julho	5,00 A a	5,65 A a	5,68 A a	5,23 A a	5,39 A
	Novembro	5,28 A a	5,73 A a	5,63 A a	5,00 A a	5,41 A
Média		5,09 b	5,65 a	5,60 a	5,10 b	5,36
CV (%) = 5,17		DMS1 = 0,30 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	4,90 A a	5,55 A a	5,50 A a	5,05 A a	5,25 A
	Julho	4,90 A a	5,58 A a	5,58 A a	5,10 A a	5,29 A
	Novembro	5,08 A a	5,65 A a	5,63 A a	5,00 A a	5,34 A
Média		4,96 b	5,59 a	5,57 a	5,05 b	5,29
CV (%) = 5,02		DMS1 = 0,29 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	4,95 A a	5,43 A a	5,53 A a	5,03 A a	5,23 A
	Julho	4,75 A a	5,48 A a	5,60 A a	5,08 A a	5,23 A
	Novembro	5,03 A a	5,63 A a	5,60 A a	4,95 A a	5,30 A
Média		4,91 b	5,51 a	5,58 a	5,02 b	5,25
CV (%) = 5,02		DMS1 = 0,29 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		11,155***	14,663***	19,000***	19,767***	
Época de Coleta (E)		2,460ns	0,850ns	0,437ns	0,399ns	
SU x E		2,151ns	0,622ns	0,220ns	0,574ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Relacionado as variações no valor de pH nos solos, Pereira, Veloso e Gama (2000), estudando as propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com pastagens de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*, durante dois anos, observaram um acréscimo no pH no segundo ano. Os autores creditaram esse resultado ao aumento da CTC como reflexo do aumento de cátions decorrente da mineralização da matéria orgânica, esclarecendo que, como consequência da elevação da CTC e dos cátions trocáveis, verificou-se aumento da saturação de bases, causando a elevação do pH e consequente diminuição no alumínio trocável.



**Figura 17** - Teores de pH em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

No presente estudo, os maiores níveis de acidez do solo ocorreram no solo da mata e no cultivado com milho, enquanto que os menores níveis de acidez ocorreram nos solos das pastagens de braquiária e mombaça. Esses resultados podem estar em conformidade com o que ocorreu no estudo de Pereira, Veloso e Gama (2000) e também relacionados ao teor de alumínio verificado nos sistemas, conforme observado na Tabela 12, e aos fatores que afetam o pH do solo explicados por Lopes (1998). Segundo este autor, solos formados sob condição de alta pluviosidade são mais ácidos, pelo fato da lixiviação de bases. Comenta também este autor, que o tipo de cobertura do solo interfere no pH, esclarecendo que os solos sob floresta tendem a ser mais ácidos que solos sob gramíneas, e ainda que solos cultivados podem se tornar mais ácidos na medida em que as colheitas removem as bases.

#### 4.1.10 Acidez Potencial (H+Al)

A Tabela 14 e Figura 18 apresentam os resultados relacionados à acidez potencial dos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso,

épocas de coleta de solo e interações.

Diferenças significativas relacionadas aos sistemas de uso do solo avaliados foram observadas em todas as profundidades. Entre 0 a 5 cm, diferenças acentuadas foram observadas entre os valores de acidez potencial dos solos cultivados com milho e da mata, com maiores valores, e o solo cultivado com braquiária, com menor valor, enquanto que o valor da acidez potencial do solo cultivado com mombaça ocupou uma posição intermediária, sem, entretanto, apresentar diferença significativa quando comparada com os valores dos demais sistemas de uso.

**Tabela 14** - Acidez potencial (cmol/dm<sup>3</sup>) do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média		
0-5 cm	Abril	4,50 B ab	3,47 B b	5,61 A a	6,15 A a	4,93 B		
	Julho	7,64 A a	6,03 A ab	5,49 A b	6,56 A ab	6,43 A		
	Novembro	4,71 B a	3,88 B a	5,00 A a	5,28 A a	4,72 B		
Média	5,61 a	4,46 b	5,37 ab	6,00 a	5,36			
CV (%) = 16,41		DMS1 = 0,97		DMS2 = 0,76	DMS3 = 1,67	DMS4 = 1,52 <sup>2</sup>		
5-10 cm	Abril	3,72 B bc	3,06 B c	4,75 A ab	5,65 AB a	4,29 B		
	Julho	6,36 A a	4,83 A b	4,54 A b	6,27 A a	5,50 A		
	Novembro	3,63 B a	3,31 B a	3,67 A a	4,54 B a	3,79 B		
Média	4,57 b	3,73 c	4,32 bc	5,49 a	4,53			
CV (%) = 14,51		DMS1 = 0,72		DMS2 = 0,57	DMS3 = 1,25	DMS4 = 1,14 <sup>2</sup>		
10-20 cm	Abril	3,43 A a	2,77 A a	3,72 A a	4,58 A a	3,62 B		
	Julho	5,53 A a	4,21 A a	3,80 A a	5,66 A a	4,80 A		
	Novembro	3,35 A a	2,73 A a	2,81 A a	4,00 A a	3,22 B		
Média	4,10 ab	3,23 c	3,44 bc	4,75 a	3,88			
CV (%) = 15,85		DMS1 = 0,68		DMS2 = 0,53 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	3,51 B a	3,73 A a	3,26 A a	3,88 B a	3,60 B		
	Julho	4,99 A a	3,84 A b	3,22 A b	5,12 A a	4,29 A		
	Novembro	3,14 B a	2,44 B a	2,48 A a	3,31 B a	2,84 C		
Média	3,88 ab	3,34 bc	2,99 c	4,10 a	3,58			
CV (%) = 14,37		DMS1 = 0,56		DMS2 = 0,44	DMS3 = 0,98	DMS4 = 0,89 <sup>2</sup>		
Valores de F <sup>3</sup>								
Fontes de Variação		Profundidades (cm)						
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30			
Sistema de Uso (SU)		6,651**	14,870***	14,904***	11,738***			
Época de Coleta (E)		17,981***	28,692***	28,448***	31,996***			
SU x E		3,490**	4,080**	1,991ns	2,580*			

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Na profundidade de 5 a 10 cm, o maior valor de acidez potencial ocorreu no solo cultivado com milho, sendo que a partir deste sistema de uso foi observado uma seqüência decrescente nos valores, correspondendo aos solos da mata, cultivados com mombaça e braquiária. O valor da acidez potencial do solo da mata não apresentou diferença significativa comparada ao solo cultivado com mombaça, que, por sua vez, não apresentou diferença significativa quando comparado com os valores do solo cultivado com braquiária.

Na profundidade de 10 a 20 cm, a diferença mais acentuada ocorreu entre o solo cultivado com milho, com o maior valor de acidez potencial, e o solo cultivado com braquiária, com o menor valor. A acidez potencial do solo da mata não diferiu significativamente do solo cultivado com milho e do solo cultivado com mombaça, o qual não diferiu do solo cultivado com braquiária. Entre 20 a 30 cm, os valores para a acidez potencial nos sistemas de uso ocorreram em uma seqüência decrescente no sentido dos solos cultivado com milho, da mata, cultivado com braquiária e com mombaça, sendo que não ocorreram diferenças significativas entre os solos: cultivado com milho e da mata, da mata e cultivado com braquiária, cultivado com braquiária e cultivado com mombaça.

Em todas as profundidades avaliadas ocorreram diferenças significativas relacionadas ao fator época. Nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, a maior acidez potencial ocorreu no mês de julho, sendo, portanto, superior a acidez potencial observadas nos meses abril e novembro, os quais apresentaram valores que não diferiram entre si. Diferenças significativas ocorreram entre os três meses avaliados na profundidade de 20 a 30 cm, com o maior valor no mês de julho, seguido por abril e novembro, com o menor valor.

A interação sistemas de uso e época apresentou diferenças significativas em todas as profundidades, exceto entre 10 a 20 cm. Considerando o efeito de época em cada sistema de uso, na profundidade de 0 a 5 cm, no solo da mata e no solo cultivado com braquiária, a maior acidez potencial ocorreu no mês de julho, enquanto que nos meses de abril e novembro ocorreram os menores valores, que não diferiram entre si. Na acidez potencial observada no solo cultivado com milho e mombaça, os valores observados nos meses não

apresentaram diferenças significativas. Na profundidade de 5 a 10 cm, o solo da mata e o solo cultivado com braquiária apresentaram maior acidez potencial no mês de julho, enquanto que os meses de abril e novembro apresentaram os menores valores, que não diferiram entre si, enquanto que no solo cultivado com milho diferença significativa ocorreu entre a acidez potencial em julho, com maior valor, comparada a do mês de novembro, com menor valor, ficando a acidez potencial observada no mês de abril com valor intermediário, sem diferir significativamente dos demais meses. No solo cultivado com mombaça não ocorreu diferença significativa entre os meses avaliados.

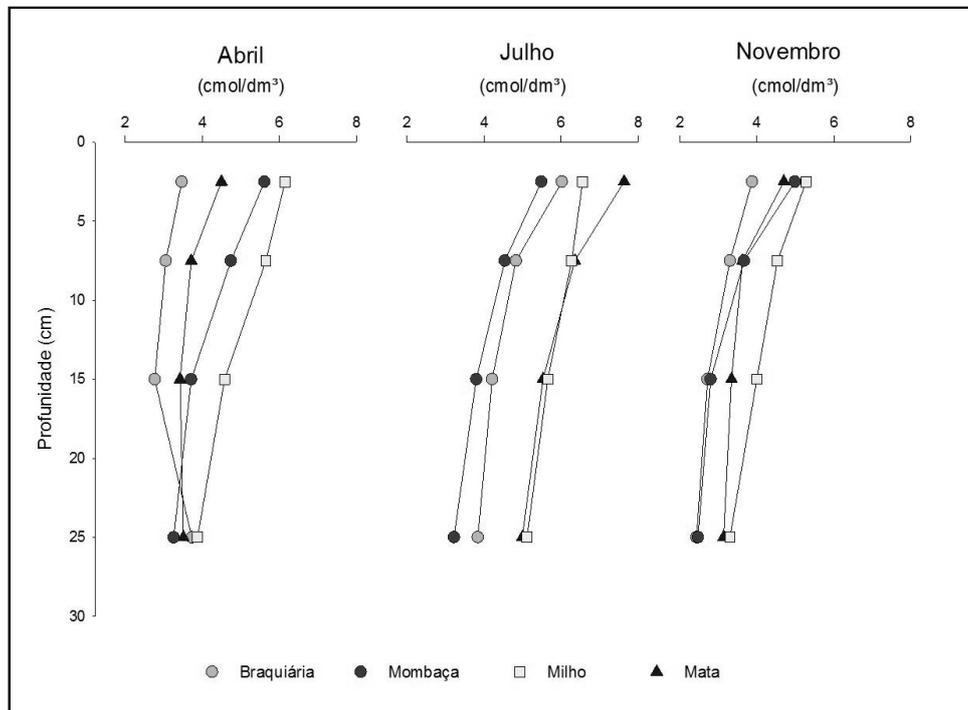
Na profundidade de 20 a 30 cm, os solos da mata e cultivado com milho apresentaram maior acidez potencial em julho, enquanto que nos meses de abril e novembro, cujos valores não apresentaram diferenças significativas entre si, registraram menores valores. No solo cultivado com braquiária o menor valor de acidez potencial ocorreu no mês de novembro, enquanto que os maiores valores ocorreram nos meses de abril e julho sem diferença significativa entre estes dois meses. No solo cultivado com mombaça, ainda entre 20 a 30 cm, não ocorreram diferenças significativas entre os valores de acidez potencial nas épocas avaliadas.

Nos desdobramentos da interação de sistemas de uso dentro de cada época, na profundidade de 0 a 5 cm, no mês de abril, as diferenças entre os valores para acidez potencial ocorreram nos solos cultivados com milho e mombaça, com maiores valores, comparados com o solo cultivado com braquiária, com menor valor, enquanto que o solo da mata não apresentou diferença significativa comparado aos demais sistemas de uso avaliados. No mês de julho foi observado diferença entre a acidez potencial do solo da mata, com o maior valor, e a acidez potencial do solo cultivado com mombaça, com o menor valor, enquanto que os valores observados para os solo cultivados com milho e com braquiária foram iguais estatisticamente e também não diferiram comparados com valores dos outros dois sistemas avaliados. No mês de novembro não ocorreu diferenças significativas entre os valores de acidez potencial dos sistemas de uso do solo avaliados.

Na profundidade de 5 a 10 cm, no mês de abril, a acidez potencial apresentou uma seqüência decrescente nos valores correspondentes aos solos cultivado com milho, cultivado com mombaça, da mata e cultivado com

braquiária, sendo que não ocorreram diferenças significativas entre os valores da acidez potencial dos solos do milho e mombaça, mombaça e mata, mata e braquiária. No mês de julho, os maiores valores para acidez potencial ocorreram nos solos da mata e cultivado com milho, que não diferiram entre si, enquanto que os menores valores ocorreram no solos cultivados com braquiária e mombaça, que também não diferiram entre si. Em novembro não ocorreram diferenças significativas entre as médias dos sistemas de uso na profundidade de 5 a 10 cm.

Na profundidade de 20 a 30 cm apenas em julho ocorreram diferenças significativas entre os sistemas de uso avaliados, sendo que os maiores valores para acidez potencial ocorreram nos solos da mata e cultivado com milho, que não diferiram entre si, enquanto que os menores valores ocorreram nos solos cultivados com braquiária e com mombaça, que também não diferiram entre si.



**Figura 18** - Acidez potencial em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

No presente estudo, considerando o efeito isolado dos diferentes sistemas de uso, os valores para acidez potencial na profundidade de 0 a 5 cm, é classificado como alto, para todos os sistemas de uso do solo, exceto para o

solo sob braquiária, onde é considerado médio em todas as profundidades analisadas (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). Na pastagem com mombaça e na mata, a partir da segunda profundidade, é considerado médio, enquanto que no solo cultivado com milho, permanece enquadrado como alto na profundidade de 5 a 10 cm, sendo que nas duas últimas profundidades os valores são médios.

Diferenças entre valores de acidez potencial na avaliação da qualidade do solo tem sido registradas. Jakelaitis et al. (2008), avaliando a qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas, identificou diferenças significativas no valor da acidez potencial, com o menor valor sendo observado em área cultivada com milho em sistema de plantio direto durante cinco anos, com cultivo no verão e pousio no inverno, e os maiores valores sendo registrado em área de mata e em pastagem de *Brachiaria brizantha* formada após rotação pastagem-soja-pastagem.

Em outro estudo, Gama-Rodrigues et al. (2008), avaliando atributos de solos sob diferentes coberturas vegetais, observaram diferenças na acidez potencial, com maior valor no cerrado, seguido por pasto degradado composto por *Melinis minutiflora* (capim gordura), *Paspalum maritimum* (grama-pernambuco) e *Imperata brasiliensis* (sapê) e por solo com plantio de eucalipto, comparados a outros sistemas de uso da terra.

Considerando que na quantidade de cargas negativas nos solos dependentes de pH existe grande contribuição da matéria orgânica. No presente trabalho, os resultados obtidos relacionados ao efeito de época na acidez potencial podem estar relacionados aos teores de matéria orgânica observados (Tabela 5). Segundo Camargos (2005) a maior parte do hidrogênio da acidez potencial provém das cargas negativas dependentes do pH. A autora acrescenta que a participação do hidrogênio, em geral, é maior do que a do alumínio trocável.

#### **4.1.11 CTC Efetiva (t)**

A Tabela 15 e Figura 19 apresentam os resultados relacionados à capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva nos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

**Tabela 15** - Capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva (cmol/dm<sup>3</sup>) do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	6,16 Aa	4,63 Aa	5,75 Aa	4,63 Aa	5,29 A
	Julho	7,47 Aa	5,20 Aa	5,76 Aa	4,74 Aa	5,79 A
	Novembro	7,26 Aa	4,97 Aa	5,81 Aa	4,92 Aa	5,74 A
Média		6,96 a	4,93 b	5,77 ab	4,76 b	5,61
CV (%) = 21,54		DMS1 = 1,33 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	4,12 Aa	3,61 Aa	5,00 Aa	4,28 Aa	4,25 A
	Julho	4,65 Aa	3,75 Aa	4,30 Aa	4,10 Aa	4,20 A
	Novembro	4,63 Aa	3,60 Aa	3,71 Aa	3,50 Aa	3,86 A
Média		4,47 a	3,65 a	4,34 a	3,96 a	4,10
CV (%) = 20,05						
10-20 cm	Abril	3,03 Aa	3,15 Aa	4,01 Aa	3,12 Aa	3,33 A
	Julho	3,38 Aa	3,12 Aa	3,70 Aa	3,50 Aa	3,43 A
	Novembro	3,36 Aa	2,71 Aa	2,92 Aa	2,97 Aa	2,99 A
Média		3,26 a	2,99 a	3,55 a	3,20 a	3,25
CV (%) = 19,89						
20-30 cm	Abril	2,65 Aa	2,81 Aa	3,62 Aa	2,79 Aa	2,97 A
	Julho	2,70 Aa	2,80 Aa	3,16 Aa	3,12 Aa	2,95 A
	Novembro	2,72 Aa	2,36 Aa	2,57 Aa	2,70 Aa	2,59 A
Média		2,69 a	2,66 a	3,12 a	2,87 a	2,83
CV (%) = 17,05						
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação	Profundidades (cm)					
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30		
Sistema de Uso (SU)	8,335***	2,401ns	1,487ns	2,251ns		
Época de Coleta (E)	0,827ns	1,067ns	1,964ns	3,082ns		
SU x E	0,271ns	0,980ns	0,898ns	1,187ns		

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> DMS1 relacionada ao fator sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup> ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\* (P<0,001)..

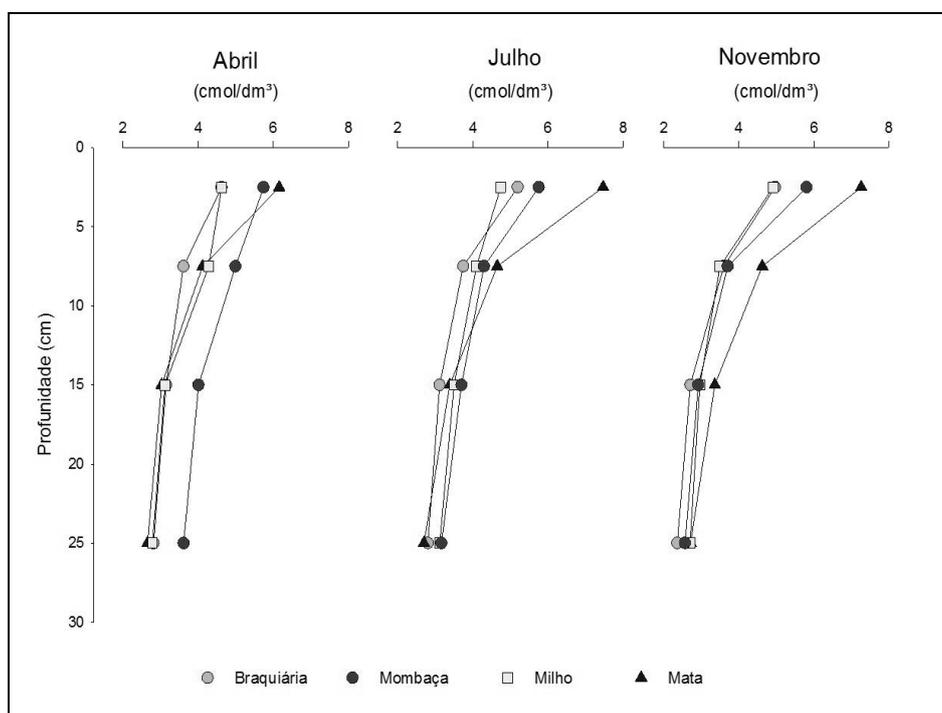
Para o fator sistemas de uso do solo diferenças significativas foram observadas somente na profundidade de 0 a 5 cm. As diferenças observadas para CTC efetiva ocorreram entre o solo sob mata, com o maior valor, e os solos cultivados com mombaça, braquiária e milho, com os menores valores, sendo os valores apresentados por estes três sistemas de uso não apresentaram diferenças significativas.

O fator época não apresentou diferenças em todas as profundidades estudadas e os resultados obtidos também demonstraram que não ocorreu interação entre os fatores sistemas de uso do solo e épocas de avaliação.

Considerando os valores obtidos em todos os sistemas de uso avaliados e nas diferentes profundidades analisadas, somente entre 0 a 5 cm os valores

da CTC efetiva foram classificados como altos. Nas profundidades inferiores, em todos os sistemas de uso, os valores foram médios (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Rodrigues et al. (2003a), analisando solos visando a caracterização e classificação dos solos de Paragominas, observou em Latossolos Amarelos, com a mesma classificação dos solos do presente estudo, valores de CTC efetiva nas camadas superficiais, Horizonte A, entre 0 a 8 cm, variando entre 4,1 e 8,0  $\text{cmol/dm}^3$ . Dessa maneira, os valores de CTC efetiva registrados nesse estudo nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 cm a 10 cm enquadram-se, portanto, na amplitude de valores registrados no estudo supracitado, obtida na caracterização dos solos de Paragominas.



**Figura 19** - Capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Quanto a variação nos valores de CTC efetiva em relação aos diferentes sistemas de uso dos solos, Oliveira et al. (2008) avaliando solos com diferentes coberturas para plantio direto, não observaram diferenças significativas para os valores da CTC efetiva. Por outro lado, Meloni et al. (2008) avaliando a qualidade do solo sob diferentes coberturas florestais e pastagem, comparadas a mata, observaram diferenças para os valores de CTC efetiva nos sistemas de

uso do solo estudados, com os maiores valores sendo obtidos nos solos de pastagem e com plantio de eucalipto. Dessa maneira, as variações observados nesta avaliação são compatíveis e atendem expectativas de alteração na CTC efetiva em decorrência de diferentes sistemas de uso do solo comuns em outros trabalhos científicos.

Os resultados deste estudo, onde, na profundidade de 0 a 5 cm, o solo sob mata apresentou o maior valor para CTC efetiva, seguido pelo solo cultivado com mombaça, podem estar relacionados ao efeito das somas de bases, principalmente à contribuição do teor de cálcio (Tabela 9). A CTC efetiva reflete a capacidade do solo de reter cátions em seu pH natural, sendo calculada pela soma de bases (cálcio, magnésio, potássio e sódio) e alumínio (CAMARGOS, 2005). A medida que o pH se eleva, o aparecimento de cargas negativas é favorecido (LOPES; GUIDOLIN, 1989; CAMARGOS, 2005) , refletindo na CTC do solo, que será tanto maior, quanto maior for as presenças de minerais de argila com dominância de cargas dependentes do pH e matéria orgânica, que, praticamente, somente apresenta esta característica (LOPES; GUIDOLIN, 1989).

#### **4.1.12 Soma de Bases Trocáveis**

A Tabela 16 e Figura 20 apresentam os resultados relacionados à soma de bases nos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Na avaliação da soma de bases, diferenças significativas foram observadas para fator sistemas de uso do solo e nas profundidades de 0 a 5 cm e 20 a 30 cm. Na primeira profundidade, a maior soma de bases ocorreu no solo da mata e as menores, nos solos cultivados com braquiária e milho, enquanto que o solo cultivado com mombaça apresentou um valor que diferiu significativamente dos demais sistemas de uso. Na profundidade de 20 a 30 cm, a diferença ocorreu entre a soma de bases do solo cultivado com mombaça que foi superior a soma de bases do solo da mata. No solo cultivado com braquiária e com milho os valores de soma de bases não diferiram entre si e também foram diferentes dos dois sistemas com os valores extremos.

O fator época não apresentou diferenças em todas as profundidades

estudadas e os resultados obtidos também demonstraram que não ocorreu interação entre os fatores sistemas de uso do solo e épocas de avaliação.

**Tabela 16** - Soma de bases trocáveis (cmol/dm<sup>3</sup>) do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.<sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	6,01 Aa	4,50 Aa	5,62 Aa	4,33 Aa	5,12 A
	Julho	7,19 Aa	5,10 Aa	5,66 Aa	4,52 Aa	5,62 A
	Novembro	7,06 Aa	4,84 Aa	5,71 Aa	4,64 Aa	5,56 A
Média		6,75 a	4,81 b	5,66 ab	4,50 b	5,43
CV (%) = 23,87		DMS1 = 1,43 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	3,69 Aa	3,46 Aa	4,87 Aa	3,93 Aa	3,99 A
	Julho	4,23 Aa	3,62 Aa	4,20 Aa	3,87 Aa	3,98 A
	Novembro	4,35 Aa	3,45 Aa	3,61 Aa	3,10 Aa	3,63 A
Média		4,09 a	3,51 a	4,23 a	3,64 a	3,87
CV (%) = 24,67						
10-20 cm	Abril	2,53 Aa	2,97 Aa	3,89 Aa	2,70 Aa	3,02 A
	Julho	2,86 Aa	2,94 Aa	3,60 Aa	3,23 Aa	3,16 A
	Novembro	2,84 Aa	2,49 Aa	2,80 Aa	2,54 Aa	2,67 A
Média		2,74 a	2,80 a	3,43 a	2,82 a	2,95
CV (%) = 27,40						
20-30 cm	Abril	2,13 Aa	2,61 Aa	3,49 Aa	2,34 Aa	2,64 A
	Julho	2,00 Aa	2,63 Aa	3,06 Aa	2,82 Aa	2,63 A
	Novembro	2,12 Aa	2,11 Aa	2,47 Aa	2,28 Aa	2,25 A
Média		2,08 b	2,45 ab	3,01 a	2,48 ab	2,51
CV (%) = 25,94		DMS1 = 0,71 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		7,292***	1,575ns	1,895ns	4,117*	
Época de Coleta (E)		0,718ns	0,742ns	1,555ns	1,910ns	
SU x E		0,185ns	0,844ns	0,611ns	0,746ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

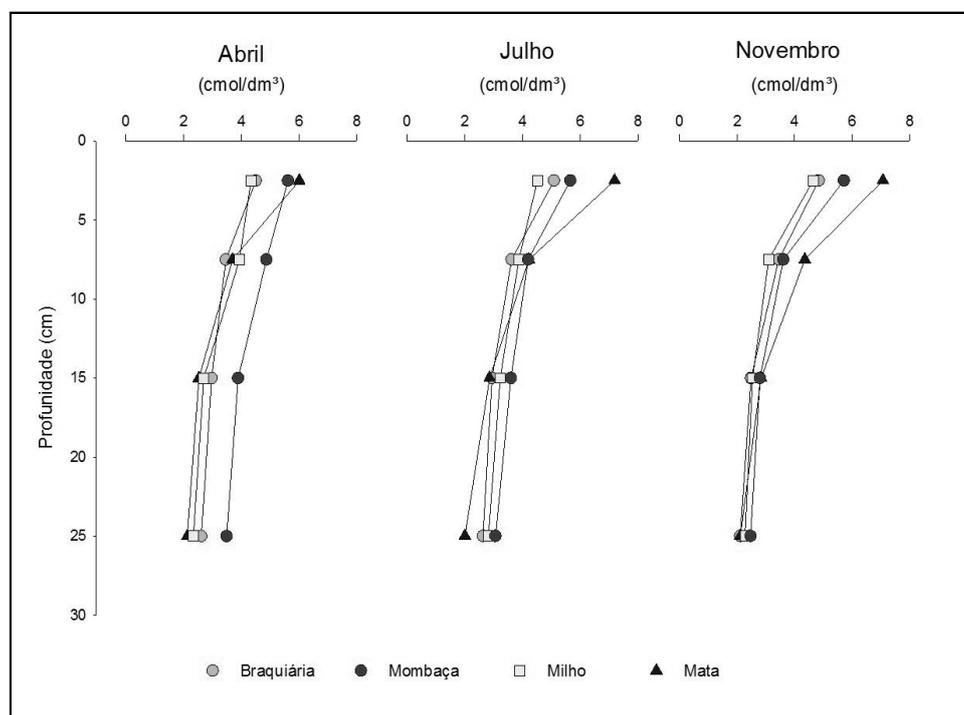
<sup>2</sup> DMS1 relacionada ao fator sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup> ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Considerando os valores obtidos nas diferentes profundidades para os sistemas de uso avaliados, nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, os valores obtidos foram considerados altos, exceto no solo da mata na profundidade de 0 a 5 cm que foi muito alto. Nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, os valores obtidos em todos os sistemas são enquadrados como médios (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

De acordo com os resultados dos valores para soma de bases observados neste estudo, Falesi (1976), avaliando áreas de pastagens em

Paragominas em Latossolo Amarelo argiloso, também registrou valores de soma de bases considerados altos nas camadas superficiais do solo, sendo a maior contribuição na soma de bases atribuídos aos altos teores de cálcio também registrados em seu estudo.



**Figura 20** - Soma de bases trocáveis em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Em relação as variações decorrentes de usos de solos diferenciados, Silva, Silva Junior e Mello (2006), avaliando o efeito de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo, observaram diferenças na soma de bases entre solos, no horizonte Ap, de áreas com diferentes sistemas de uso, com valores registrados em uma seqüência decrescente de recente derruba e queima, de floresta secundária, de pastagem abandonada e de cultura de cacau, sendo que entre as duas últimas áreas as diferenças entre os valores não foram significativas. Os autores observaram também diferenças na soma de bases em outros horizontes estudados e entre eles.

No presente estudo, na profundidade de 0 a 5 cm, onde a área de mata apresentou o maior valor de soma de bases, menores valores foram registrados nos solos da pastagem de braquiária e de cultivo de milho, com o

cultivo de mombaça ocupando posição intermediária, os resultados podem estar relacionados com os observados para o teor de cálcio (Tabela 9). Situação também observada para os resultados na profundidade de 20 a 30 cm, onde os resultados relacionados ao teor de cálcio possivelmente interferiram para o menor valor de soma de bases no solo da mata e dos demais sistemas de uso do solo.

#### **4.1.13 Percentagem de Saturação de Alumínio (m)**

A Tabela 17 e Figura 21 apresentam os resultados relacionados à percentagem de saturação de alumínio nos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Diferenças foram observadas entre os sistemas de uso em todas as profundidades estudadas. Na profundidade de 0 a 5 cm, as maiores diferenças entre os valores foi observada entre a percentagem de saturação de alumínio no solo cultivado com milho, com o maior valor e as percentagens nos solos cultivados com braquiária e mombaça, com os menores valores, as quais não diferiram significativamente entre si, ficando o solo da mata com valor intermediário sem diferir dos demais sistemas de uso. Na profundidade de 5 a 10 cm, ocorreu diferença entre o solo da mata e o solo cultivado com milho, com o maior e menor valor da percentagem de saturação de alumínio, respectivamente. As percentagens de saturação de alumínio dos solos cultivados com milho e braquiária não diferiram entre si e também dos valores observados para os solos da mata e do solo cultivado com mombaça.

Nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, as diferenças foram semelhantes, com o solo da mata apresentando o maior valor e os solos sob as pastagens, os menores valores. O solo cultivado com milho registrou um valor intermediário sem apresentar diferenças quando comparado com os valores apresentados pelo outros sistemas de uso avaliados.

**Tabela 17** - Percentagem de saturação de alumínio (%) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	2,76 Aa	2,82 Aa	2,30 Aa	6,49 Aa	3,59 A
	Julho	5,46 Aa	1,95 Aa	1,75 Aa	4,76 Aa	3,48 A
	Novembro	3,59 Aa	2,62 Aa	1,73 Aa	5,78 Aa	3,43 A
Média		3,94 ab	2,46 b	1,93 b	5,68 a	3,50
CV (%) = 43,28		DMS1 = 3,21 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	11,52 Aa	4,38 Aa	2,82 Aa	8,24 Aa	6,74 A
	Julho	12,14 Aa	3,42 Aa	2,36 Aa	5,78 Aa	5,93 A
	Novembro	7,33 Aa	4,48 Aa	2,81 Aa	11,59 Aa	6,55 A
Média		10,33 a	4,09 ab	2,66 b	8,54 ab	6,41
CV (%) = 57,48		DMS1 = 6,87 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	18,81 Aa	5,99 Aa	3,64 Aa	14,04 Aa	10,62 A
	Julho	17,85 Aa	5,76 Aa	2,77 Aa	8,30 Aa	8,67 A
	Novembro	18,48 Aa	9,25 Aa	4,72 Aa	14,45 Aa	11,73 A
Média		18,38 a	7,00 b	3,71 b	12,26 ab	10,34
CV (%) = 48,80		DMS1 = 10,10 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	20,98 Aa	7,93 Aa	3,75 Aa	17,06 Aa	12,43 A
	Julho	26,69 Aa	6,66 Aa	3,26 Aa	10,15 Aa	11,69 A
	Novembro	26,10 Aa	11,94 Aa	3,97 Aa	16,03 Aa	14,51 A
Média		24,59 a	8,84 b	3,66 b	14,41 ab	12,88
CV (%) = 46,90		DMS1 = 12,31 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação	Profundidades (cm)					
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30		
Sistema de Uso (SU)	3,986*	4,033*	5,861**	7,693***		
Época de Coleta (E)	0,013ns	0,075ns	0,453ns	0,273ns		
SU x E	0,465ns	0,513ns	0,115ns	0,244ns		

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

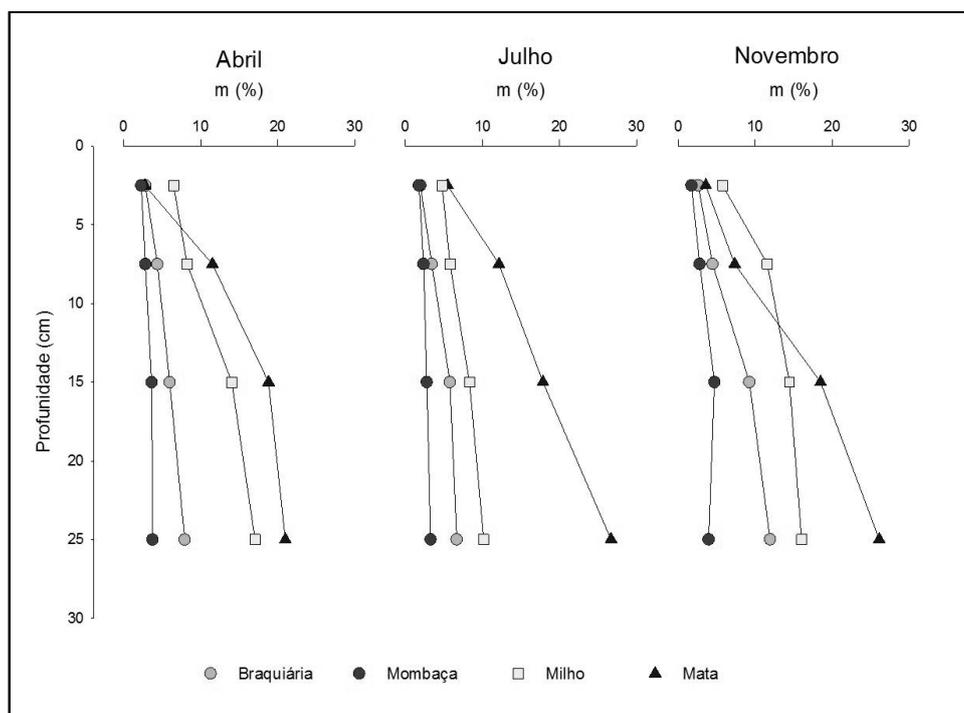
<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

O fator época não apresentou efeito significativo para a percentagem de saturação de alumínio. As interações entre sistemas de uso do solo e épocas de avaliação também não apresentaram diferenças significativas em todas as profundidades avaliadas.

A percentagem de saturação de alumínio expressa o percentual da CTC efetiva que está ocupada pela acidez trocável ou alumínio trocável. Seria a percentagem de cargas negativas do solo que está ocupada pelo alumínio trocável, ao pH natural do solo (BRAGA, 2009). Segundo Camargos (2005), a percentagem de saturação de alumínio é o parâmetro que melhor expressa o potencial fitotóxico do alumínio, considerando a variação de CTC entre solos, de modo que quando este percentual for maior que 60% há um aumento da

atividade do alumínio na solução, sendo que, para grande maioria das espécies vegetais, o crescimento das raízes é, praticamente, paralisado.



**Figura 21** - Percentagem da saturação de alumínio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Considerando os valores obtidos em cada sistema de uso nas profundidades analisadas, todos os valores observados foram considerados muito baixos, exceto na mata nas profundidades de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm, onde os valores são considerados baixos (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Os resultados obtidos no presente experimento em que foram identificados, de maneira geral, menores valores para a porcentagem de saturação de alumínio nos solos sob as pastagens e maiores valores no solo da mata e no solo cultivado com milho, conduzem a uma relação com os resultados obtidos para pH e teores de alumínio (Tabelas 13 e 12). Dessa maneira, os resultados observados podem ser atribuídos aos maiores valores de pH e menores teores de alumínio observados nas pastagens, associados a uma situação inversa registrada no solo da mata e no cultivado com milho.

Salimon, Wadt e Melo (2007), estudando solos no sudoeste da Amazônia, em duas florestas primárias, em duas florestas secundárias com 3

anos e em pastagens de 13 e 14 anos registraram valores diferenciados para a porcentagem de saturação de alumínio nos diferentes ecossistemas e também entre as profundidades estudadas. As porcentagens de saturação de alumínio, que variaram entre 0 e 71 %, 2 e 86 %, 51 e 91 %, e 84 e 94 %, nas profundidades de 0 a cm, 5 a 10 cm, 20 a 30 cm, 50 a 60 cm, respectivamente, em geral, altas e muito altas (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999), estavam associadas à valores de pH ácidos, variando entre 3,2 a 5,4, determinados na razão 1:2,5 em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>.

#### **4.1.14 CTC a pH 7,0 (T)**

A Tabela 18 e Figura 22 apresentam os resultados relacionados à capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0 no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

O efeito de sistemas de uso do solo foram observados em todas as profundidades avaliadas. Entre 0 a 5 cm, a CTC a pH 7 foi maior no solo da mata e menor no solo cultivado com braquiária, sendo que os solos cultivados com mombaça e milho apresentaram CTC a pH 7 que não diferiram entre si, ocupando valores intermediários em relação aos valores dos sistemas de uso extremos, diferindo significativamente destes. Nas profundidades de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, a CTC a pH 7 dos solos da mata e dos solos cultivados com milho e mombaça não apresentaram diferenças significativas, diferindo e sendo superiores comparados a CTC a pH 7 observada no solo cultivado com mombaça. Entre 20 a 30 cm, a diferença ocorreu entre a CTC a pH 7 do solo cultivado com milho que foi superior comparada a CTC a pH 7 no solo cultivado com braquiária, enquanto que os solos da mata e cultivado com mombaça não diferiram entre si e também não diferiram quando comparados aos solos do milho e da braquiária.

Quanto ao fator época, na profundidade de 0 a 5, o mês julho foi o que apresentou CTC a pH 7 superior aos valores registrados nos meses de abril e novembro, os quais não diferiram significativamente quando comparados. Nas profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, diferenças ocorreram entre os três meses avaliados, os quais apresentaram valores em uma seqüência decrescente no sentido julho, abril e novembro.

**Tabela 18** - Capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 (cmol/dm<sup>3</sup>) do solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.<sup>1</sup>

Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	10,51 B a	7,97 B b	11,24 A a	10,48 A a	10,05 B
	Julho	14,83 A a	11,12 A b	11,15 A b	11,08 A b	12,04 A
	Novembro	11,77 B a	8,72 B c	10,70 A ab	9,92 A BC	10,28 B
Média		12,37 a	9,27 c	11,03 b	10,49 B	10,79
CV (%) = 7,50		DMS1 = 0,89		DMS2 = 0,70	DMS3 = 1,54	DMS4 = 1,40 <sup>2</sup>
5-10 cm	Abril	7,41 B b	6,52 B b	9,62 A a	9,59 A a	8,28 B
	Julho	10,58 A a	8,45 A c	8,74 A bc	10,15 A ab	9,48 A
	Novembro	7,98 B a	6,76 B a	7,28 B a	7,64 B a	7,42 C
Média		8,66 a	7,24 b	8,55 a	9,13 A	8,39
CV (%) = 9,11		DMS1 = 0,84		DMS2 = 0,66	DMS3 = 1,46	DMS4 = 1,32 <sup>2</sup>
10-20 cm	Abril	5,96 B b	5,74 B b	7,60 A a	7,28 B a	6,64 B
	Julho	8,39 A ab	7,15 A b	7,39 A b	8,88 A a	7,95 A
	Novembro	6,18 B ab	5,21 B b	5,61 B ab	6,54 B a	5,89 C
Média		6,84 a	6,03 b	6,87 a	7,57 A	6,83
CV (%) = 10,05		DMS1 = 0,75		DMS2 = 0,59	DMS3 = 1,31	DMS4 = 1,19 <sup>2</sup>
20-30 cm	Abril	5,64 B b	6,34 A ab	6,75 A a	6,22 B ab	6,24 B
	Julho	6,99 A ab	6,47 A b	6,28 A b	7,94 A a	6,92 A
	Novembro	5,26 B a	4,55 B a	4,95 B a	5,58 B a	5,09 C
Média		5,96 ab	5,79 b	6,00 ab	6,58 A	6,08
CV (%) = 9,24		DMS1 = 0,62		DMS2 = 0,49	DMS3 = 1,07	DMS4 = 0,97 <sup>2</sup>
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação	Profundidades (cm)					
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30		
Sistema de Uso (SU)	30,192***	13,340***	10,017***	4,515**		
Época de Coleta (E)	29,107***	29,308***	37,136***	43,463***		
SU x E	6,710***	6,363***	3,031*	3,776**		

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup> ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Considerando o efeito de época dentro de cada sistema de uso, na profundidade de 0 a 5 cm, nos solos da mata e cultivado com braquiária, o mês de julho apresentou CTC a pH 7 superior comparado aos meses de abril e novembro, que não diferiram entre si. A CTC a pH 7, na profundidade de 0 a 5 cm, nos solos cultivados com milho e mombaça não apresentou diferenças entre os meses avaliados. Entre 5 a 10 cm, nos solos da mata e cultivado com braquiária, o mês de julho apresentou CTC a pH 7 superior comparado aos meses de abril e novembro que não diferiram entre si. Nos solos cultivados com mombaça e milho, também na profundidade de 5 a 10 cm, a diferença ocorreu entre os valores observados nos meses de abril e julho, que não

diferiram entre si, mas, comparados com o valor registrado no mês de novembro foram superiores, diferindo significativamente.

Na profundidade de 10 a 20 cm, nos solos da mata e cultivados com braquiária e milho, o mês de julho apresentou CTC a pH 7 superior comparado aos meses de abril e novembro, que não diferiram entre si. No solo cultivado com mombaça, a diferença ocorreu entre os valores observados nos meses de abril e julho, que não diferiram entre si, entretanto foram superiores e diferiram significativamente da CTC a pH 7 no mês novembro. Entre 20 a 30 cm, nos solos de mata e cultivado com milho, o mês de julho apresentou CTC a pH 7 superior comparado aos meses de abril e novembro, que não diferiram entre si. Nos solos cultivados com mombaça e braquiária, a diferença ocorreu entre os valores observados nos meses de abril e julho, que não diferiram entre si, entretanto, foram superiores e diferiram significativamente da CTC a pH 7 no mês novembro.

O efeito de sistemas de uso do solo em cada época apresentou diferenças significativas em todas as profundidades estudadas. Entre 0 a 5 cm, no mês de abril, a CTC a pH 7 nos solos da mata, cultivado com mombaça e cultivado com milho não apresentaram diferenças significativas, mas, os valores observados foram superiores, diferindo significativamente, quando comparados com a CTC a pH 7 do solo cultivado com braquiária. No mês de julho, o maior valor para CTC a pH 7 ocorreu no solo da mata e os menores valores, os quais não diferiram entre si, corresponderam aos solos cultivados com braquiária, mombaça e milho. Em novembro, a CTC a pH 7 no solo da mata registrou o maior valor e não diferiu da CTC a pH 7 no solo cultivado com mombaça, o qual, por sua vez, não diferiu do solo cultivado com milho. A menor CTC a pH 7 ocorreu no solo cultivado com braquiária, a qual não apresentou diferença significativa quando comparada com a CTC a pH 7 do solo cultivado com milho.

Na profundidade de 5 a 10 cm, no mês de abril, não apresentaram diferenças significativas os valores da CTC a pH 7 dos solos cultivados com milho e mombaça, que apresentaram os maiores valores, e também não foram diferentes a CTC a pH 7 dos solos da mata e cultivado com braquiária, sendo que estes dois últimos diferiram significativamente dos dois primeiros. No mês de julho, a CTC a pH 7 no solo da mata, com maior valor, não diferiu da CTC

a pH 7 do solo cultivado com milho, este solo, por sua vez, não diferiu do solo cultivado com mombaça. A CTC a pH 7 no solo cultivado com braquiária, com menor valor, não apresentou diferença significativa quando comparada com a CTC a pH 7 do solo cultivado com mombaça. Em novembro não ocorreu diferenças entre os sistemas de uso entre 5 a 10 cm.

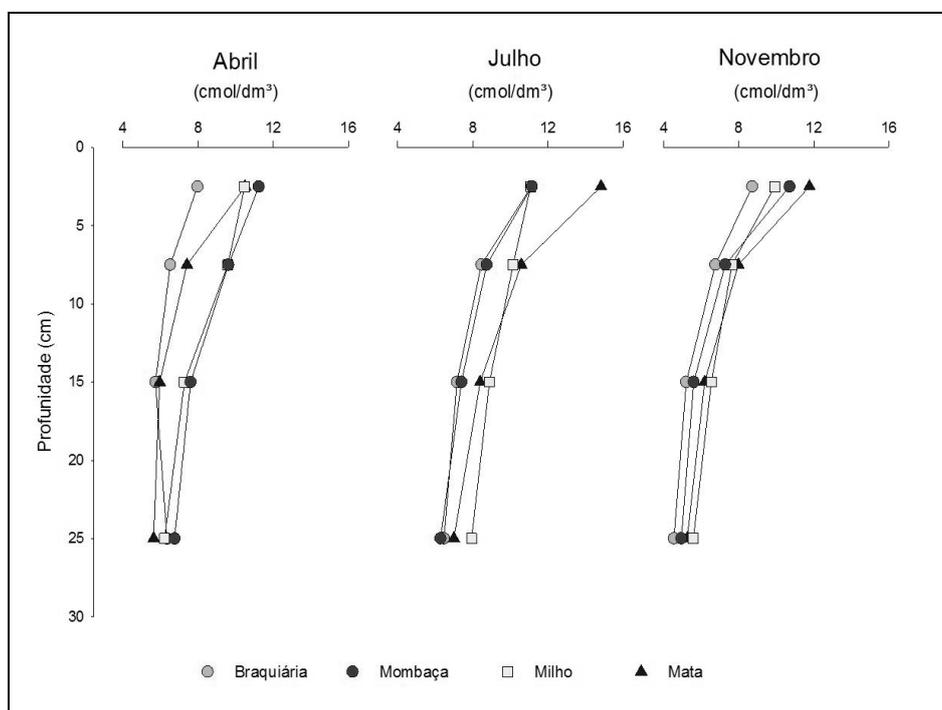
Na profundidade de 10 a 20 cm, no mês de abril, não apresentaram diferenças significativas os valores da CTC a pH 7 dos solos cultivados com milho e mombaça, os quais apresentaram os maiores valores, e também não apresentaram diferenças a CTC a pH 7 dos solos da mata e cultivado com braquiária, sendo que estes dois últimos deferiram dos dois primeiros. Em julho, a diferença ocorreu entre o solo cultivado com milho, com maior CTC a pH 7, comparado aos solos cultivados com braquiária e mombaça, com menores valores, enquanto que a CTC a pH 7 do solo da mata, com valor intermediário, não diferiu dos demais sistemas de uso avaliados. Ainda na profundidade de 10 a 20 cm, no mês de novembro não ocorreu diferença significativa na CTC a pH 7 dos solos entre os sistemas de uso.

Na profundidade de 20 a 30 cm, no mês de abril, a diferença na CTC a pH 7 do solo ocorreu entre o sistema com mombaça e a mata, com o maior e menor valor, respectivamente, enquanto que os solos cultivados com braquiária e milho não diferiram entre si, com valores intermediários, e também não diferiram dos solos da mata e cultivado com mombaça. Em julho, a diferença na CTC a pH 7 do solo ocorreu entre o sistema com o milho, com o maior valor, e os solos cultivados com braquiária e mombaça, que não diferiram entre si, com menores valores, enquanto que o solo da mata, com valor intermediário, não diferiu dos solos cultivados com milho, braquiária e mombaça. No mês de novembro não ocorreu diferenças entre os sistemas de uso entre 20 a 30 cm.

Os valores da CTC a pH 7 obtidos neste estudo, nos diferentes sistemas de uso de solo e épocas avaliadas, estão de acordo com os valores observados por Rodrigues et al. (2003a) em trabalho de pesquisa visando a caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas-PA.

Quanto aos resultados obtidos, que, em geral, identificam o solo cultivado com braquiária com o menor valor da CTC a pH 7 e o mês de julho com o maior valor, provavelmente estão relacionados à influência da acidez

potencial, a qual apresentou marcante redução no solo cultivado com braquiária (Tabela 14) e, considerando as épocas de avaliação, marcante aumento no mês de julho, haja vista que as bases, também componente da CTC a pH 7 (LOPES; GUIDOLIN, 1989) apresentaram, em relação as épocas valores de seus teores nos solos mais equilibrados entre os sistemas de uso avaliados (Tabelas 8, 9, 10, 11).



**Figura 22** - Capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Estudando alterações em características químicas de solos da região amazônica pela introdução de pastagens, Longo e Espíndola (2000) identificaram diferenças na CTC a pH 7 entre solos com usos diferenciados, com maior valor para esta característica, observada em solo de floresta comparado ao solo cultivado com pastagem de *Brachiaria brizantha*. Os autores creditaram as diferenças registradas às expressivas contribuições da acidez potencial, que foi superior no solo de floresta, além de comentarem sobre a contribuição da matéria orgânica no resultado. Estes resultados corroboram os resultados do presente estudo.

#### 4.1.15 Percentagem de Saturação de Bases da CTC a pH 7 (V)

A Tabela 19 e Figura 23 apresentam os resultados relacionados à percentagem de saturação de bases nos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Foram identificadas diferenças entre os sistemas de uso do solo nas profundidades de 0 a 5 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm. Entre 0 a 5 cm, a diferença ocorreu entre as percentagens de saturação de bases da CTC a pH 7 dos solos da mata e cultivado com braquiária que foram superiores quando comparadas ao solo cultivado com milho. O solo com mombaça não apresentou diferença significativa quando comparado com os outros sistemas de uso estudados.

Na profundidade de 10 a 20 cm, a diferença ocorreu entre a percentagens de saturação de bases da CTC a pH 7 do solo cultivado com mombaça que foi superior quando comparada ao solo cultivado com milho. Os valores da percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 nos solos sob a braquiária e mata não apresentaram diferenças entre si e quando comparados aos dois valores extremos correspondentes aos solos sob mombaça e milho.

Entre 20 a 30 cm de profundidade, a diferença ocorreu entre o solo cultivado com mombaça, com maior percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 quando comparado com o solo cultivado com milho e com o solo da mata, enquanto que o solo cultivado com braquiária não apresentou, significativamente, diferença quando comparado aos valores apresentados pelos demais sistemas avaliados.

Diferenças na percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 relacionadas à época não ocorreram, em todas as profundidades. Diferenças nos valores da percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 na interação sistemas de uso do solo e épocas de avaliação também não ocorreram em todas as profundidades analisadas.

**Tabela 19** - Percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 (%) no solo, em diferentes sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

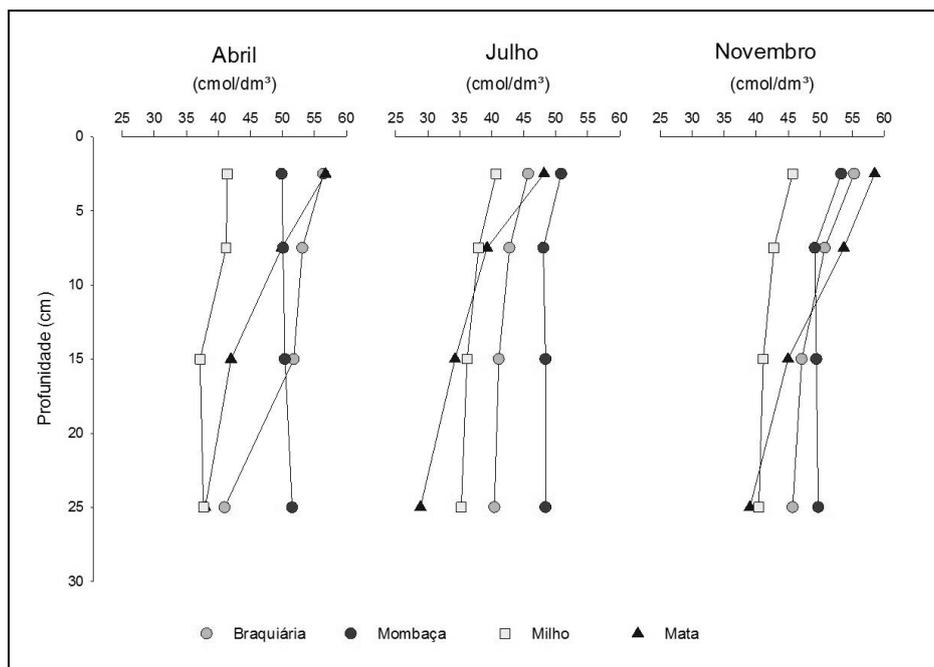
Profundidade	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	56,73 Aa	56,41 Aa	49,89 Aa	41,39 Aa	51,10 A
	Julho	48,18 Aa	45,71 Aa	50,85 Aa	40,70 Aa	46,36 A
	Novembro	58,51 Aa	55,30 Aa	53,29 Aa	46,67 Aa	53,44 A
Média		54,47 a	52,47 a	51,34 ab	42,92 b	50,30
CV (%) = 16,53		DMS1 = 9,14 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	49,89 Aa	53,12 Aa	50,09 Aa	41,21 Aa	48,58 A
	Julho	39,27 Aa	42,78 Aa	48,07 Aa	37,96 Aa	42,02 A
	Novembro	53,68 Aa	50,71 Aa	49,17 Aa	40,53 Aa	48,53 A
Média		47,61 a	48,87 a	49,11 a	39,90 a	46,37
CV (%) = 18,50		DMS1 = 9,44 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	41,96 Aa	51,76 Aa	50,39 Aa	37,13 Aa	45,31 A
	Julho	34,26 Aa	41,11 Aa	48,40 Aa	36,16 Aa	39,98 A
	Novembro	44,98 Aa	47,13 Aa	49,39 Aa	38,85 Aa	45,09 A
Média		40,40 ab	46,66 ab	49,40 A	37,38 b	43,46
CV (%) = 21,60		DMS1 = 10,33 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	37,95 Aa	40,96 Aa	51,52 Aa	37,67 Aa	42,02 A
	Julho	28,86 Aa	40,43 Aa	48,40 Aa	35,25 Aa	38,23 A
	Novembro	39,02 Aa	45,70 Aa	49,69 Aa	40,75 Aa	43,79 A
Média		35,28 b	42,36 ab	49,87 a	37,89 b	41,35
CV (%) = 21,84		DMS1 = 9,93 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		4,493**	3,107*	4,169*	6,008**	
Época de Coleta (E)		3,015ns	3,090ns	1,649ns	1,582ns	
SU x E		0,517ns	0,582ns	0,387ns	0,285ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Considerando os valores da percentagem de saturação de bases a pH 7 obtidos nos sistemas de uso nas profundidades avaliadas, com exceção das de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm para o solo cultivado com milho, e de 20 a 30 cm para o solo da mata onde os valores são baixos, em todas as outras profundidades, para todos os sistemas de uso do solo, os valores são médios (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999)



**Figura 23** - Percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Os resultados obtidos, demonstram, considerando a percentagem de saturação de bases a pH 7,0 uma situação desfavorável no solo cultivado com milho comparado aos demais sistemas de uso do solo, sendo que esta situação pode ser atribuída à menor soma de bases (Tabela 16) com a contribuição dos menores teores de potássio e magnésio apresentados no solo (Tabelas 8 e 10), e ao maior teor de alumínio, também registrado no solo cultivado com milho (Tabela 12).

## 4.2 INDICADORES BIOQUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO

### 4.2.1 Carbono da Biomassa Microbiana

A Tabela 20 e Figura 24 apresentam os resultados relacionados aos teores de carbono da biomassa microbiana no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Diferenças entre os sistemas de uso do solo ocorreram em todas as profundidades avaliadas. Os solos da mata e cultivado com braquiária, na profundidade de 0 a 5 cm, apresentaram teores de biomassa microbiana

superiores aos teores apresentado pelo solo cultivado com milho, enquanto que o teor da biomassa microbiana do solo cultivado com mombaça não apresentou diferença significativa quando comparado aos demais sistemas de uso avaliados. Na profundidade de 5 a 10 cm, o teor de biomassa microbiana no solo cultivado com braquiária foi superior ao observado no solo cultivado com milho, enquanto que os teores de biomassa microbiana no solo da mata e cultivado com mombaça não diferiram entre si e também não diferiram significativamente quando comparados aos teores observados nos solos cultivados com braquiária e com milho.

**Tabela 20** - Teores de Carbono da biomassa microbiana ( $\mu\text{g/g}$ ) no solo, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média					
0-5 cm	Abril	274,88	A ab	337,10	A a	210,12	A bc	156,59	A c	244,67	A
	Julho	213,61	B a	170,94	B a	187,22	AB a	131,79	A a	175,89	B
	Novembro	119,90	B a	102,05	B a	126,19	B a	101,26	A a	112,35	C
Média		202,80	a	203,36	A	174,51	ab	129,88	b	177,64	
CV (%) = 24,30		DMS1 = 47,47		DMS2 = 37,31	DMS3 = 82,23	DMS4 = 74,63	<sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	210,34	A a	267,46	A a	156,37	A a	172,18	A a	201,59	A
	Julho	186,27	A a	168,62	A a	155,03	A a	125,32	A a	158,81	B
	Novembro	111,11	A a	95,80	A a	86,34	A a	72,77	A a	91,51	C
Média		169,24	ab	177,29	A	132,58	ab	123,43	b	150,63	
CV (%) = 28,19		DMS1 = 46,71		DMS2 = 36,71	<sup>2</sup>						
10-20 cm	Abril	202,30	A a	213,01	A a	106,82	A a	137,56	A a	164,92	A
	Julho	217,53	A a	189,34	A a	148,75	A a	114,18	A a	167,45	A
	Novembro	109,08	A a	97,65	A a	78,98	A a	71,28	A a	89,25	B
Média		176,30	a	166,67	A	111,52	b	107,67	b	140,54	
CV (%) = 35,23		DMS1 = 54,47		DMS2 = 42,81	<sup>2</sup>						
20-30 cm	Abril	209,91	A a	173,43	A a	94,20	A a	100,36	A a	144,48	A
	Julho	219,75	A a	193,55	A a	156,92	A a	139,63	A a	177,46	A
	Novembro	99,74	A a	100,73	A a	55,71	A a	53,25	A a	77,36	B
Média		176,47	a	155,90	A	102,27	b	97,75	b	133,10	
CV (%) = 34,75		DMS1 = 50,86		DMS2 = 39,98	<sup>2</sup>						
Valores de F <sup>3</sup>											
Fontes de Variação		Profundidades (cm)									
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30						
Sistema de Uso (SU)		7,697***	4,709**	6,336**	8,605***						
Época de Coleta (E)		37,605***	27,323***	12,886***	19,470***						
SU x E		4,169**	1,376ns	0,883ns	0,558ns						

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*( $P < 0,05$ ), \*\*( $P < 0,01$ ), \*\*\*( $P < 0,001$ ).

As diferenças entre os sistemas de uso do solo ocorridas nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm foram semelhantes. Os teores de biomassa microbiana nos solos de mata e cultivado com braquiária foram iguais estatisticamente, entretanto foram significativamente diferentes e superiores aos teores apresentados nos solos cultivados com mombaça e milho, quais não apresentaram diferenças significativas quando comparados.

Quanto ao fator época, nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, diferenças foram observadas entre todos os meses, sendo o mês de abril o que apresentou maior teor de biomassa microbiana no solo comparado aos teores registrados nos meses de julho e novembro, este último com o menor teor. Entre 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, os teores apresentados nos meses de abril e julho foram iguais comparados entre si, porém, diferentes significativamente, apresentaram teores superiores comparados ao teor no mês de novembro.

Na interação entre os sistemas de uso e época, somente na profundidade de 0 a 5 cm ocorreram diferenças significativas. No efeito de época em cada sistema de uso, nos solos da mata e cultivado com braquiária, os teores de biomassa microbiana observados em abril foram superiores aos teores nos meses de julho e novembro, os quais não apresentaram diferença significativa quando comparados. No solo cultivado com mombaça, o teor no mês de abril não diferiu do teor em julho, que, por sua vez, não diferiu do teor em novembro, sendo que a diferença ocorreu entre abril e novembro com os registros de maior e menor teor de biomassa microbiana, respectivamente. Diferenças no teor de biomassa microbiana no solo entre os meses avaliados não ocorreram no solo cultivado com milho na profundidade de 0 a 5 cm.

Segundo De-Polli e Guerra (2008), modificações na biomassa microbiana do solo têm sido detectadas em função de práticas de preparo do solo, manejo de culturas e adubação. Os autores acrescentam que: a derrubada da mata tropical, seguida de queima da vegetação, provoca uma queda inicial com posterior elevação da biomassa microbiana do solo; a cobertura do solo com pastagens permanentes proporciona um nível intermediário de biomassa microbiana do solo entre a mata tropical e as lavouras manejadas convencionalmente; e flutuações temporais na biomassa microbiana do solo tem sido observadas associadas à variabilidade climáticas. Os resultados observados para a biomassa microbiana no presente estudo,

estão de acordo as situações expostas pelos autores, haja vista, a ocorrência de variações na biomassa microbiana nos sistemas de uso do solo avaliados, comparados com sistema natural de mata, além de efeitos sazonais na biomassa microbiana que também foram observados no presente estudo.

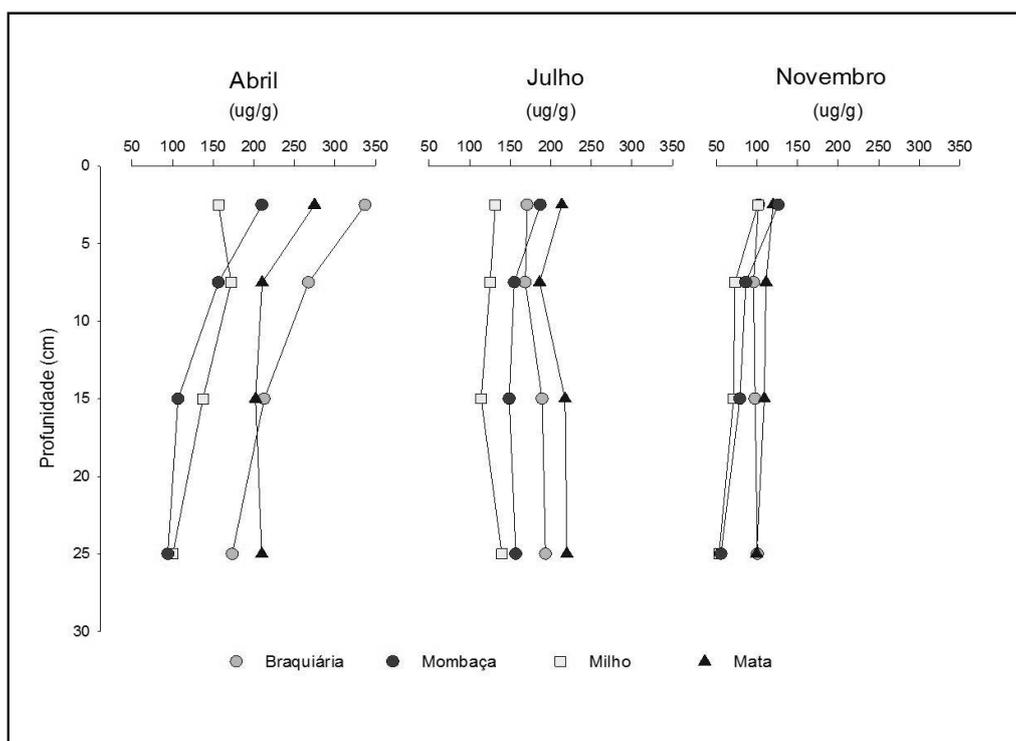
A importância da biomassa microbiana do solo como indicadora de alterações resultantes de manejos do solo diferenciados são comentadas por vários autores (BALOTA et al., 1998; FRIGHUETTO, 2000; MATSUOKA et al., 2008; DE-POLLI; GUERRA, 2008). Dessa maneira, assim como no presente estudo, variações quanto ao valor da biomassa microbiana nos solos são relatadas.

Costa, Goedert e Souza (2006), avaliando a qualidade de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de plantio direto e plantio convencional, com oito e dez anos de cultivo, observaram, na profundidade de 0 a 10 cm, diferenças significativas no teor de carbono da biomassa microbiana nos sistemas estudados entre si e comparados com a área de cerrado nativo, a qual apresentou maior teor. Em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Matsuoka, Mendes e Loureiro (2003) obtiveram, no início da estação chuvosa, em vegetação nativa de Cerradão, áreas de cultivo de videiras (na entrelinha e na linha) e em cultivos anuais de soja, teores de biomassa microbiana do solo, em mg de C . Kg<sup>-1</sup> de solo, na profundidade de 0 a 5 cm de 391,6, 124, 132,4 e 96,8 e na profundidade de 5 cm a 20 cm de 420,9, 163,5, 112,7 e 104,1, respectivamente.

No contexto amazônico, Luizão, Costa e Luizão (1999) em estudo na Amazônia central observaram que biomassa microbiana do solo, na camada de 0 a 5 cm, aumentaram até cinco anos de estabelecimento da pastagem, passando a apresentar um declínio progressivo, acentuado após o oitavo ano da pastagem. Davidson et al. (2004), observaram em floresta secundária em Paragominas-PA, usando o método de fumigação-incubação, teores de carbono da biomassa microbiana do solo, em mg de C . Kg<sup>-1</sup> de solo, que variaram entre 700 a 1500 e 280 a 460 nas profundidades de 0 a 2,5 cm e 15 a 20 cm, respectivamente.

A cobertura do solo com pastagens permanentes condiciona, de acordo com Pfenning, Eduardo e Cerri (1992), um nível de biomassa microbiana do solo intermediário entre solo de mata tropical e solo de lavouras com preparo

convencional. No presente estudo, os solos sob as pastagens de braquiária e mombaça nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm apresentaram carbono da biomassa microbiana do solo equivalente ao observado no solo da mata utilizada como referência. Os valores obtidos para o teor de carbono da biomassa microbiana no solo da mata, foram compatíveis com valores em solos sob florestas nativas na Amazônia brasileira, expostos por Cerri, Feigl e Cerri (2008), salientando que variações também decorrem de métodos de análises diferenciados.



**Figura 24** - Teores de carbono da biomassa microbiana em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Avaliando o efeito de diferentes formas de preparo do solo na biomassa microbiana em um solo cultivado com soja, Perez, Ramos e Mcmanus (2004) concluíram que os valores da biomassa microbiana em semeadura direta são mais estáveis e que o revolvimento do solo por subsolagem e gradagem diminuem o valor da biomassa microbiana. Considerando o revolvimento do solo como um fator que pode determinar a diminuição no valor do carbono da biomassa microbiana (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007), os menores valores para o carbono da biomassa microbiana no solo cultivado com milho, podem ser atribuídos ao revolvimento do solo em seu preparo para plantio,

uma vez que, no presente estudo, o solo cultivado com milho teve como antecedente dois cultivos de arroz que ocorreram com objetivo de recuperar área de pastagem degradada. Dessa maneira, embora com a intenção de implantação de um sistema "Santa Fé", mediante o plantio simultâneo de *Brachiaria ruziziensis* e milho, o preparo da área tanto para os dois plantios de arroz antecedentes como para o plantio do milho, por ocasião da implantação do sistema, ocorreram com preparo convencional do solo.

Resultados obtidos por Cattelan e Vidor (1990) identificam flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. Dados expostos por Cerri, Feigl e Cerri (2008), pertinentes às alterações em solos sob floresta e pastagens com diferentes idades, na condição amazônica, demonstraram decréscimos nos valores do carbono da biomassa microbiana na estação seca comparada a estação chuvosa, atribuídos a condição de menor e maior umidade do solo, respectivamente. Situação que pode explicar os resultados do presente estudo relacionados aos maiores valores no carbono da biomassa microbiana, principalmente, nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm observados no mês de abril, com maior precipitação pluviométrica e umidade do solo (Tabelas 3 e 32). Por outro lado, Vasconcelos et al. (2005), estudando o solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia oriental, observaram maior valor de carbono da biomassa microbiana do solo na estação seca comparada à chuvosa. Segundo os autores, embora existam relatos de correlações negativas entre carbono da biomassa microbiana e umidade do solo, estes resultados não eram esperados, de modo que atribuíram ao resultado à possível ocorrência de nutrientes prontamente disponíveis e eventos de chuvas anteriores a coleta de solo durante a estação seca.

#### **4.2.2 Respiração Basal do Solo**

A Tabela 21 e Figura 25 apresentam os resultados relacionados aos valores da respiração basal no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

**Tabela 21** - Valores da respiração basal ( $\mu\text{gCO}_2\cdot\text{g solo}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.<sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	3,21 A a	1,54 A a	1,59 A a	0,99 A a	1,83 A
	Julho	3,03 A a	1,44 A a	1,51 A a	0,75 A a	1,68 A
	Novembro	3,26 A a	1,58 A a	1,71 A a	0,82 A a	1,84 A
Média		3,17 a	1,52 b	1,60 b	0,85 c	1,79
CV (%) = 17,77		DMS1 = 0,35 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	1,49 A a	1,00 A a	1,08 A a	0,83 A a	1,10 A
	Julho	1,79 A a	1,19 A a	0,81 A a	0,61 A a	1,10 A
	Novembro	1,53 A a	1,13 A a	0,91 A a	0,69 A a	1,07 A
Média		1,61 a	1,11 b	0,93 bc	0,71 c	1,09
CV (%) = 24,07		DMS1 = 0,29 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	0,75 A a	0,96 A a	0,70 A a	0,59 A a	0,75 A
	Julho	1,03 A a	0,78 A a	0,64 A a	0,51 A a	0,74 A
	Novembro	1,05 A a	1,04 A a	0,87 A a	0,60 A a	0,89 A
Média		0,94 a	0,93 a	0,74 ab	0,57 b	0,79
CV (%) = 27,91		DMS1 = 0,24 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	0,76 A a	0,52 A a	0,56 A a	0,35 A a	0,55 B
	Julho	0,95 A a	0,62 A a	0,60 A a	0,50 A a	0,67 AB
	Novembro	1,07 A a	0,78 A a	0,66 A a	0,72 A a	0,81 A
Média		0,93 a	0,64 b	0,61 b	0,52 b	0,67
CV (%) = 33,88		DMS1 = 0,25 DMS2 = 0,20 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação	Profundidades (cm)					
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30		
Sistema de Uso (SU)	114,230***	25,381***	7,652***	7,163***		
Época de Coleta (E)	1,275ns	0,093ns	2,310ns	5,219*		
SU x E	0,177ns	1,289ns	0,923ns	0,273ns		

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup> ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

A respiração basal do solo em relação aos sistemas de uso avaliados, apresentou diferenças em todas as profundidades, sendo que na profundidade 0 a 5 cm o maior valor ocorreu no solo da mata, seguido pelos valores observados nos solos com braquiária e mombaça, que não diferiram significativamente entre si, e pelo solo cultivado com milho, o qual apresentou o menor valor. Na profundidade de 5 a 10 cm, novamente, o solo da mata apresentou o maior valor, seguido por uma seqüência decrescente de valores da respiração basal dos solos cultivados com braquiária, mombaça e milho, sendo que os valores da respiração basal no solo com mombaça ocupou posição intermediária não diferindo significativamente quando comparado com os solos cultivados com braquiária e com milho.

Na profundidade de 10 a 20 cm, a respiração basal do solo não apresentou diferenças entre os solos da mata, cultivado com braquiária e cultivado com mombaça, sendo que este último sistema de uso também não diferiu significativamente quando comparado ao solo cultivado com milho, que apresentou o menor valor. Na profundidade de 20 a 30 cm, diferença significativa ocorreu entre a respiração basal do solo da mata, com maior valor, comparadas aos demais sistemas de uso, os quais não diferiram comparados entre si.

Quanto ao fator época, diferenças ocorreram apenas na profundidade de 20 a 30 cm, sendo que o mês de novembro apresentou respiração basal do solo superior a observada em abril, enquanto que o valor no mês de julho foi intermediário, não diferindo significativamente quando comparado aos valores dos outros dois meses avaliados.

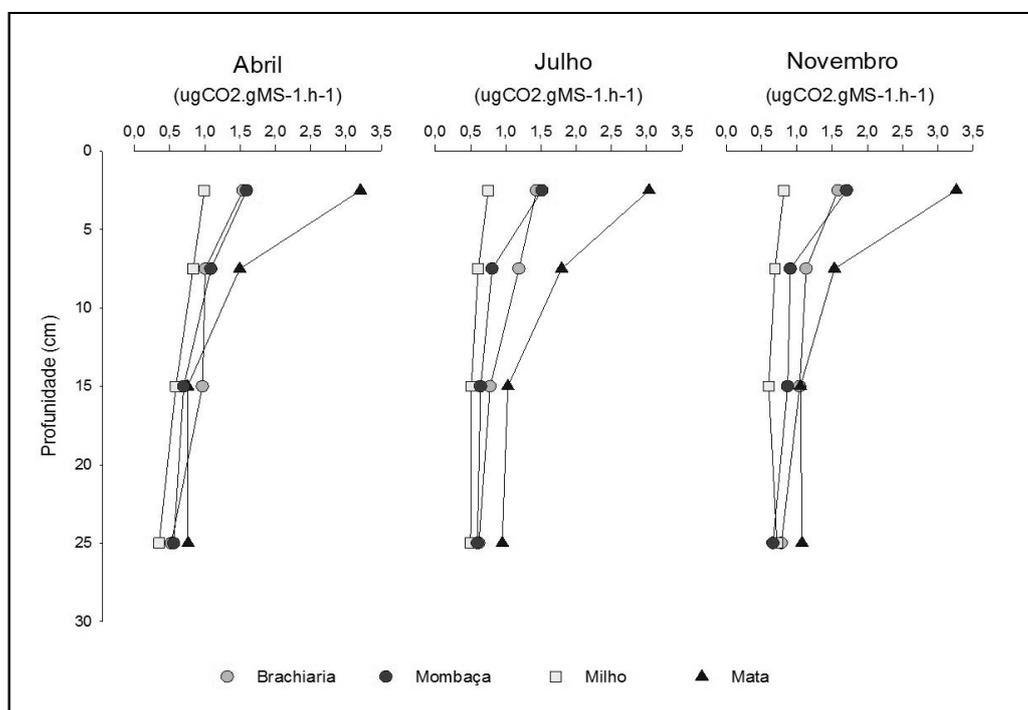
A interação entre os sistemas de uso do solo e a época não apresentou diferenças significativas em todas as profundidades estudadas.

Na avaliação da interação entre sistemas de uso do solo e épocas não foram identificadas diferenças significativas em nenhuma das profundidades consideradas. O efeito da época ocorreu somente na profundidade de 20 a 30 cm, sendo a maior diferença entre os meses de novembro e abril, respectivamente, apresentando o maior e menor valor para a respiração basal do solo. Foi constatado o efeito de sistemas de uso do solo para a referida variável, sendo que, em geral, o solo da área de mata apresentou os maiores valores para a respiração basal do solo. Na profundidade de 10 a 20 cm, a maior diferença ocorreu na comparação entre o solo de mata e o cultivado com milho.

A medida da respiração do solo é variável e possui estreita relação com as condições abióticas do solo, sendo influenciada pela umidade, temperatura e aeração (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005), sendo que a essas condições são acrescentadas a disponibilidade de substrato no solo (CATTELAN; VIDOR, 1990).

Segundo Araújo e Monteiro (2007), diferenças entre manejo de solos promovem variações na respiração do solo, fato que torna esta característica sensível indicadora aos efeitos de alterações no solo. Dessa maneira, no presente estudo, a respiração basal do solo apresentou diferenças em função

dos sistemas de uso, conseqüentemente dos manejos praticados, em todas as profundidades, sendo que os maiores valores registrados na respiração basal no solo sob mata, podem ser atribuídos a maior umidade do solo (Tabela 32) e disponibilidade de substrato.



**Figura 25** - Respiração basal em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Costa et al. (2006), avaliando a qualidade de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e semeadura direta, observaram menor respiração basal em plantio convencional com oito anos de cultivo. Neves et al (2009), avaliando atributos biológicos no solo, observaram menores valores da respiração basal para solos com cultivo convencional.

Resultados semelhantes aos observados nos trabalhos de Costa, Goedert e Souza. (2006) e Neves et al (2009) podem ter ocorrido no presente estudo, onde o cultivo de milho, que foi antecedido por pastagem degradada e dois cultivos de arroz, teve no preparo da área processos convencionais com arações e gradagens, que provavelmente contribuíram para a menor respiração basal registrada no solo cultivado com milho, em geral, em todas a profundidade analisadas.

Segundo Araújo e Monteiro (2007) os microrganismos respondem rapidamente às mudanças nas condições do solo, de modo que qualquer condição de umedecimento permite aumento na respiração e mineralização do carbono e nitrogênio da matéria orgânica do solo. Por outro lado, embora com textura muito argilosa, o solo em estudo apresenta boa condição de drenagem (RODRIGUES et al, 2003a; RODRIGUES et al., 2003b), por conseguinte, estas situações podem ter influenciado na falta de resposta do fator época na respiração basal nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm.

#### **4.2.3 Quociente Respiratório**

A Tabela 22 e Figura 26 apresentam os resultados relacionados aos valores do quociente respiratório nos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Relacionado aos sistemas de uso do solo, diferenças ocorreram nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm. O solo da mata apresentou os maiores valores para o quociente respiratório, enquanto que os demais sistemas de uso avaliados apresentaram valores para o quociente respiratório que não diferiram significativamente quando comparados. Nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, não ocorreram diferenças significativas entre os sistemas de uso do solo avaliados.

Quanto ao fator época de coleta de solo, o mês de novembro, em todas as profundidades avaliadas, correspondeu a época de maior valor para o quociente respiratório do solo, sendo esse resultado acompanhado pelos menores valores registrados nos meses de abril e julho que não diferiram significativamente quando comparados entre si.

Na análise da interação do efeito de épocas em cada sistema de uso do solo, apenas na profundidade de 0 a 5 cm foram registradas diferenças no quociente respiratório do solo. Na mata e no solo cultivado com braquiária o maior valor para o quociente respiratório ocorreu em novembro, enquanto que os meses de abril e julho, com menores valores, não apresentaram diferenças significativas comparados entre si. Nos solos cultivados com mombaça e com milho não foram observados diferenças entre os valores do quociente respiratório entre os meses avaliados.

**Tabela 22** - Valores do quociente respiratório ( $\mu\text{gC-CO}_2\cdot\mu\text{g}^{-1}\text{ C-BMS}\cdot\text{h}^{-1}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	0,012 B a	0,005 B a	0,008 A a	0,007 A a	0,008 B
	Julho	0,016 B a	0,009 B ab	0,009 A ab	0,006 A b	0,010 B
	Novembro	0,029 A a	0,016 A b	0,014 A b	0,008 A b	0,017 A
Média	0,019 a	0,010 B	0,010 b	0,007 b	0,011	
CV (%) = 39,01		DMS1 = 0,005		DMS2 = 0,004	DMS3 = 0,008	DMS4 = 0,008 <sup>2</sup>
5-10 cm	Abril	0,008 A a	0,004 A a	0,007 A a	0,005 A a	0,006 B
	Julho	0,010 A a	0,007 A a	0,006 A a	0,005 A a	0,007 B
	Novembro	0,014 A a	0,012 A a	0,011 A a	0,010 A a	0,012 A
Média	0,011 a	0,008 b	0,008 b	0,007 b	0,008	
CV (%) = 28,48		DMS1 = 0,002		DMS2 = 0,002 <sup>2</sup>		
10-20 cm	Abril	0,004 A a	0,005 A a	0,007 A a	0,004 A a	0,005 B
	Julho	0,005 A a	0,004 A a	0,005 A a	0,004 A a	0,005 B
	Novembro	0,010 A a	0,013 A a	0,011 A a	0,008 A a	0,011 A
Média	0,006 a	0,007 A	0,007 a	0,006 a	0,007	
CV (%) = 44,77		DMS2 = 0,003 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	0,004 A a	0,005 A a	0,006 A a	0,004 A a	0,005 B
	Julho	0,005 A a	0,003 A a	0,004 A a	0,004 A a	0,004 B
	Novembro	0,012 A a	0,008 A a	0,012 A a	0,013 A a	0,011 A
Média	0,007 a	0,005 A	0,008 a	0,007 a	0,007	
CV (%) = 46,74		DMS2 = 0,003 <sup>2</sup>				
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		17,279***	6,846***	0,914ns	1,173ns	
Época de Coleta (E)		18,119***	27,238***	19,490***	27,870***	
SU x E		2,524*	0,787ns	0,588ns	0,982ns	

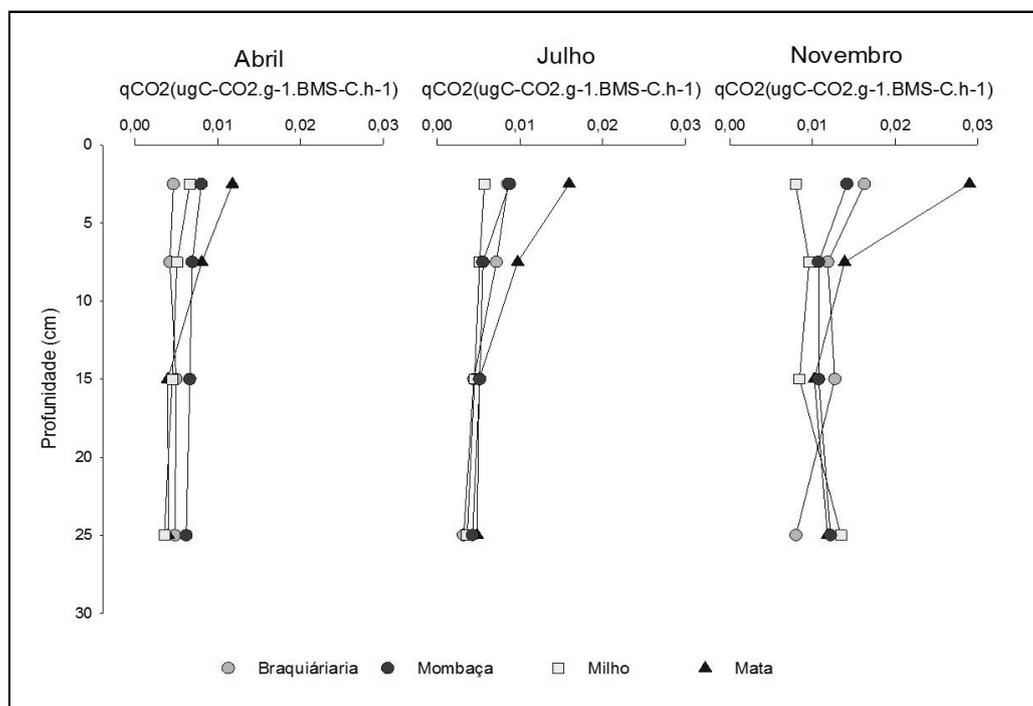
<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Na análise da interação do efeito de sistemas de uso em cada época, no mês de abril, na profundidade de 0 a 5 cm, não ocorreram diferenças entre os sistemas de uso. Em julho, a diferença no quociente respiratório ocorreu entre o valor observado no solo da mata, com maior valor, comparado ao solo cultivado com milho, enquanto que os solos cultivados com braquiária e com mombaça apresentaram valores intermediários sem diferirem significativamente entre si e também quando comparados com os solos da mata e cultivado com milho. Em novembro, o quociente respiratório no solo da mata foi maior quando comparado com os demais sistemas de uso, os quais não apresentaram diferenças significativas comparados entre si.

Nas profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm não ocorreram diferenças significativas na interação entre os fatores sistemas de uso do solo e época.



**Figura 26** - Quociente respiratório em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

O quociente respiratório indica, segundo Fialho et al. (2006) que a biomassa microbiana torna-se mais eficiente a partir do momento que menos carbono é perdido na forma de CO<sub>2</sub> pela respiração, possibilitando dessa forma, uma maior incorporação de carbono aos tecidos microbianos. Valores mais elevados de quociente respiratório indicam, segundo Tótola e Chaer (2002), maior consumo de carbono prontamente mineralizável, elevando-se as perdas de CO<sub>2</sub>, o que não é desejado.

Segundo Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), os estudos sobre manejos de solo devem buscar sistemas que promovam menores valores de quocientes respiratórios, pois nesses, a biomassa microbiana está em equilíbrio, com menores perdas de CO<sub>2</sub> pela respiração, e com isso, maior é a incorporação de carbono à biomassa microbiana.

Neste contexto de interpretação, considerando Tótola e Chaer (2002), Fialho et al. (2006) e Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), os resultados obtidos nas condições do presente estudo, relacionados ao fator

sistema de uso, apresentaram os solos cultivados com braquiária e com mombaça, nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, com valores para o quociente respiratório menores, comparados aos valores obtidos no solo da mata usada como referência, sugerindo, portanto, a eficiência da biomassa microbiana dos solos desses sistemas com pastagens, uma vez que não apresentaram diferenças significativas para os valores de carbono da biomassa microbiana e apresentaram diferenças para os valores da respiração basal do solo. O quociente respiratório ou quociente metabólico é a razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana do solo pelo tempo, e indica a eficiência da biomassa microbiana em fazer uso do carbono disponível para biossíntese (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005 ; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Por outro lado, quocientes metabólicos elevados são também um indicativo de comunidades microbianas em desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos (ANDERSON; DOMSCH, 1993; REIS JUNIOR; MENDES, 2007). Essa situação pode explicar os maiores valores do quociente respiratório, entre 0 a 5 cm e 5 a 10 cm de profundidade, obtidos no solo da mata, admitindo um solo com biomassa microbiana em desenvolvimento, ainda que a mata considerada tivesse idade aproximada de 30 anos. Moreira e Costa (2004), avaliando a dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras na região amazônica, observaram em reflorestamento com diferentes idades, realizado com espécies nativas da região, valores da biomassa microbiana, em mg de C. Kg<sup>-1</sup>, de 70,26, 94,90 e 141,07 para reflorestamento de 1 ano, de 10 anos e floresta primária, respectivamente; situação que pode demonstrar o desenvolvimento da biomassa microbiana no sentido da regeneração de um sistema natural após alteração.

Segundo Neves et al. (2009), em sistemas de cultivos recentes a biomassa microbiana, pode estar em adaptação às condições do solo sob manejo. Em adição a essa situação, segundo os mesmos autores, deve-se considerar que apenas 15 a 30% da biomassa microbiana do solo é ativa. A maior parte dos microrganismos do solo, segundo Moreira e Siqueira (2006), ocorrem em formas latentes ou inativas, com baixa atividade metabólica. Neste contexto, acrescentam os autores, considerando que a interpretação dos resultados do quociente respiratório leva em conta o teor de carbono da

biomassa microbiana, admite-se a possibilidade, em algumas circunstâncias de dificuldades na interpretação dos resultados.

As considerações pertinentes a Neves et al. (2009) e a Moreira e Siqueira (2006) também podem ser relacionadas aos resultados observados no solo cultivado com milho. Diante das alterações promovidas pela movimentação no preparo do solo, admitia-se a possibilidade de maiores valores do quociente respiratório face a um estresse na biomassa microbiana. Entretanto, o sistema com milho apresentou os menores valores nas profundidades em que diferenças foram registradas. Em outra análise, a relação menor biomassa microbiana com menor respiração basal pode justificar os menores valores obtidos no solo cultivado com milho.

Balota et al. (1998) observaram reduções de 28% no quociente respiratório sob plantio direto, evidenciando menor perda relativa de CO<sub>2</sub>, situação que segundo os autores, pode determinar, em longo prazo, maior acúmulo de carbono no solo. Os autores constataram ainda uma relação inversa entre biomassa microbiana do solo e quociente respiratório, sugerindo que, sob maiores teores de carbono, possa ocorrer aumento da biomassa microbiana e redução da atividade metabólica.

No presente estudo, a relação inversa sugerida por Balota et al. (1998) foi observada em todas as profundidades avaliadas, considerando o efeito da época sobre o quociente respiratório, de modo que em abril, quando foram verificados os maiores teores de biomassa microbiana, registraram-se os menores valores para o quociente respiratório, situação também observada especificamente no solo da mata e no solo cultivado com braquiária.

Relacionado ao efeito dos sistemas de uso nos meses de julho e novembro, verificado na profundidade de 0 a 5 cm, onde o maior valor do quociente respiratório ocorreu na mata, os resultados são semelhantes aos obtidos em estudo em que se utilizaram sistemas naturais como referência realizados por Dalfré, Costa e Piccolo (2008) e Pereira, Mercante e Padovan (2008). Por outro lado, D'Andréa et al. (2002), no sul de Goiás, observaram baixos valores de quociente respiratório para cerrado nativo e pastagem de *Brachiária decumbens* sob pastejo contínuo comparados com plantios diretos e convencionais, resultados também observados por Meloni et al. (2008) com mata nativa e pastagens comparadas com plantios de eucalipto e araucária no

sul de Minas Gerais.

#### 4.2.4 Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo

A Tabela 23 e Figura 27 apresentam os resultados relacionados aos teores de nitrogênio da biomassa microbiana nos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

**Tabela 23** - Teores de nitrogênio da biomassa microbiana ( $\mu\text{g/g}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média					
0-5 cm	Abril	159,93	A a	68,71	A b	54,15	A b	78,63	AB b	90,36	A
	Julho	93,64	B a	56,25	A a	52,82	A a	86,10	A a	72,20	AB
	Novembro	52,31	C ab	90,66	A a	78,17	A ab	44,29	B b	66,36	B
Média		101,96	a	71,87	b	61,72	b	69,67	b	76,31	
CV (%) = 29,44		DMS1 = 24,70		DMS2 = 19,42	DMS3 = 42,79	DMS4 = 38,83		²			
5-10 cm	Abril	136,33	A a	74,66	A a	46,64	A a	55,07	A a	78,18	A
	Julho	86,71	A a	37,62	A a	37,32	A a	58,15	A a	54,95	AB
	Novembro	57,75	A a	64,73	A a	50,39	A a	35,19	A a	52,01	B
Média		93,60	a	59,00	b	44,78	b	49,47	b	61,71	
CV (%) = 48,40		DMS1 = 32,85		DMS2 = 25,82		²					
10-20 cm	Abril	152,16	A a	51,92	A b	34,66	A b	30,08	A b	67,21	A
	Julho	61,57	B a	29,56	A b	33,93	A b	49,77	A ab	43,71	B
	Novembro	40,73	B a	33,24	A a	46,14	A a	47,71	A a	41,96	B
Média		84,82	a	38,24	b	38,25	b	42,52	b	50,96	
CV (%) = 27,57		DMS1 = 15,45		DMS2 = 12,15	DMS3 = 26,77	DMS4 = 24,29		²			
20-30 cm	Abril	92,79	A a	71,75	A a	32,70	A b	29,27	A b	56,63	A
	Julho	55,09	B a	32,82	B a	30,08	A a	56,88	A a	43,72	A
	Novembro	49,10	B a	39,83	AB a	36,44	A a	41,88	A a	41,81	A
Média		65,66	a	48,14	ab	33,08	b	42,67	b	47,39	
CV (%) = 41,22		DMS1 = 21,48		DMS3 = 37,21	DMS4 = 33,77		²				
Valores de F <sup>3</sup>											
Fontes de Variação		Profundidades (cm)									
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30						
Sistema de Uso (SU)		7,411***	6,548**	31,222***	5,886**						
Época de Coleta (E)		4,967*	3,684*	16,116***	2,724ns						
SU x E		8,788***	1,981ns	20,413***	3,260*						

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Avaliando o efeito do fator sistemas de uso do solo, diferenças ocorreram em todas as profundidades. Nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10

cm e 10 a 20 cm, os teores de nitrogênio da biomassa microbiana apresentaram as mesmas diferenças entre os sistemas de uso, onde o solo da mata registrou o maior valor, com teor de nitrogênio da biomassa microbiana superior aos teores nos solos cultivados com braquiária, mombaça e milho, os quais não diferiram significativamente comparados entre si. Entre 20 a 30 cm, o teor de nitrogênio da biomassa microbiana no solo da mata também foi superior aos teores apresentados pelos solos cultivados com milho e mombaça, entretanto não foi diferente significativamente, quando comparado com o teor observado no solo cultivado com braquiária. Os teores observados nos solos da braquiária, mombaça e milho não apresentaram diferenças significativas.

Relacionado ao efeito da época de coleta de solo, nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, o mês de abril quando comparado ao mês de novembro apresentou maior teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo, enquanto que o teor no mês de julho não foi diferente significativamente dos dois outros meses avaliados. Na profundidade de 10 a 20 cm, a diferença significativa ocorreu entre o teor ocorrido no mês de abril, com maior teor, comparado aos meses de julho e novembro que não diferiram quando comparados. Diferenças nos teores de nitrogênio da biomassa microbiana do solo não foram observadas entre as épocas avaliadas na profundidade de 20 a 30 cm.

O efeito da interação entre os fatores ocorreu em todas as profundidades avaliadas, exceto entre 5 a 10 cm. No efeito de época dentro de cada sistema de uso, na profundidade de 0 a 5 cm, no solo da mata as diferenças nos teores de nitrogênio da biomassa microbiana ocorreram em uma seqüência decrescente de valores relacionados aos meses de abril, julho e novembro. No solo cultivado com milho, diferença significativa ocorreu entre o mês de julho, com maior teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo, comparado ao teor no mês de novembro, enquanto que o teor observado em abril apresentou valor intermediário não diferindo significativamente dos demais meses.

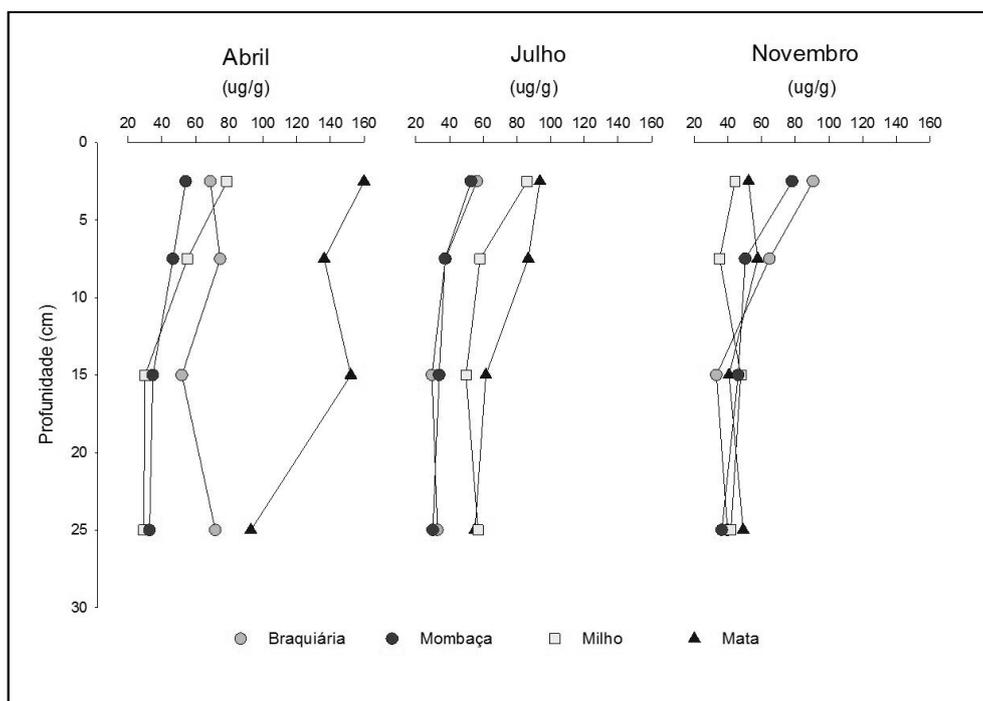
Entre 10 a 20 cm, diferenças de época dentro de sistema de uso ocorreu somente no solo da mata, onde abril foi o mês com maior teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo, superior aos teores observados nos meses de julho e novembro que não diferiram significativamente entre si. Na profundidade de 20 a 30 cm, no solo da mata, abril foi novamente o mês com

maior teor de nitrogênio da biomassa microbiana, superior aos teores observados nos meses de julho e novembro que não diferiram significativamente. No solo cultivado com braquiária ocorreu diferença entre o teor de nitrogênio da biomassa microbiana observado no mês de abril, com maior teor, comparado com o teor no mês de julho, enquanto que em novembro o teor registrado não diferiu significativamente dos teores observados nos demais meses.

Na interação em que foi avaliado o efeito dos sistemas de uso do solo em cada época de coleta de solo, na profundidade de 0 a 5 cm, em abril, o maior teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo ocorreu na mata, enquanto que os teores que ocorreram nos demais sistemas de uso não foram significativamente diferentes quando comparados. Em julho, na profundidade de 0 a 5 cm, não ocorreu diferença entre os teores apresentados pelo sistemas de uso do solo. Contudo, no mês de novembro, ainda nessa profundidade, a diferença ocorreu entre o teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo cultivado com braquiária, com o maior teor, comparado ao teor verificado no solo cultivado com milho, com o menor teor, enquanto que os teores nos solos da mata e cultivado com mombaça, com valores intermediários, não diferiram significativamente entre si e também quando comparados com os outros dois sistemas de uso do solo.

Na profundidade de 10 a 20 cm, o efeito da interação de sistema de uso dentro de época, ocorreu somente nos meses de abril e julho. No mês de abril, o solo da mata registrou o maior teor de nitrogênio da biomassa microbiana quando comparado aos teores observados nos demais sistemas avaliados, os quais apresentaram teores que não diferiram significativamente entre si. Em julho, novamente o solo da mata apresentou o maior teor de nitrogênio da biomassa microbiana, quando comparado como os teores dos solos cultivados com braquiária e mombaça, enquanto que o solo cultivado com milho, com teor de valor intermediário, não apresentou diferença significativa comparado aos demais sistemas de uso. Na profundidade de 20 a 30 cm, o efeito da interação entre os sistemas de uso dentro de época, apresentou diferenças significativas apenas no mês de abril, onde os teores de nitrogênio da biomassa microbiana do solo da mata e cultivado com braquiária não apresentaram diferenças significativas entre si, entretanto foram superiores aos teores observados nos

solos cultivados com mombaça e milho, os quais também não diferiram significativamente quando comparados.



**Figura 27** - Teores de nitrogênio da biomassa microbiana em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

As variações do teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo observados no presente estudo relacionadas aos sistemas de uso do solo são coerentes ao exposto por Vargas e Scholles (1998). Segundo estes autores, a biomassa microbiana atua como um tampão do nitrogênio do solo, controlando sua disponibilidade por meio de processos de mineralização e imobilização, de modo que em diferentes manejos do solo, a microbiota recebe estímulos diferenciados devidos à composição dos resíduos das espécies vegetais e preparo do solo.

Coser et al. (2007) comenta que o efeito da adição de nitrogênio ao solo sobre o nitrogênio da biomassa microbiana em sistemas agrícolas e florestais, diverge em alguns trabalhos, tendo se apresentado como neutro, aumentando ou diminuindo o nitrogênio da biomassa microbiana. O autor comenta ainda que existem estudos em que a adição de fertilizantes nitrogenados na superfície do solo afeta a atividade da biomassa microbiana, não apenas nas camadas superficiais, mas também nas mais profundas.

No presente estudo, em relação ao efeito isolado dos sistemas de uso

do solo, foram registrados maiores teores de nitrogênio da biomassa microbiana no solo da mata, resultado que também ocorreu em relação ao efeito dos sistemas de uso em cada época nas diferentes profundidades analisadas, onde, em geral, apresentaram maior teor de nitrogênio da biomassa microbiana no solo da mata. Estes resultados podem ser atribuídos a maior estabilidade do sistema de mata comparado aos demais sistemas que sofreram perturbações provocadas pelos sistemas de produção.

Ressalta-se que tanto as pastagens cultivadas, como o milho, receberam adubações anuais na forma de N-P-K, onde no caso das pastagens, tanto de braquiária como de mombaça, a quantidade correspondeu a 25 e 30 Kg de nitrogênio por hectare no ano de 2008, respectivamente. No caso do solo cultivado com milho, cujo cultivo foi antecedido com o cultivo de arroz, o total aplicado considerando o plantio e a cobertura foi de 36 e 98 Kg de N por hectare, em 2007 e 2008, respectivamente. Esta situação pode ter influenciado para os menores valores observados nos solos cultivados com braquiária, mombaça e milho comparados ao solo da mata, em conformidade com o exposto por Coser et al. (2007).

O efeito de época registrado no presente estudo, com maiores valores de nitrogênio microbiano no mês de abril, período chuvoso, e menores valores no mês de novembro, período seco, estão de acordo com dados expostos por Cerri, Feigl e Cerri (2008), os quais, em uma avaliação das alterações na biomassa microbiana do solo sob floresta e pastagens de diferentes idades nas condições amazônicas, também identificam menores teores de nitrogênio da biomassa microbiana do solo na estação seca.

As variações do teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo observados no presente estudo decorrentes das épocas de coleta de solo, podem estar relacionadas à imobilização e mineralização de nitrogênio no período chuvoso e seco, respectivamente, pela biomassa microbiana do solo. Davidson et al. (2004), avaliando a atividade e biomassa microbiana do solo de floresta secundária em Paragominas, observaram, na fase final da estação chuvosa, valores negativos na determinação da mineralização de nitrogênio no solo, situação que, segundo os autores, indica a imobilização de amônio e nitrato. Enquanto que Carvalho (2006), estudando na Amazônia a conversão do cerrado para fins agrícolas e seus impactos no solo e no ambiente, constatou

na dinâmica do nitrogênio no solo que na estação seca ocorreu mineralização, enquanto que na estação chuvosa ocorreu imobilização do nitrogênio do solo pela biomassa microbiana. Em estudo realizado por Vasconcelos et al. (2005) em um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia oriental, maiores teores de nitrogênio da biomassa microbiana nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm foram observados na estação seca.

#### **4.2.5 Urease**

A Tabela 24 e Figura 28 apresentam os resultados relacionados aos valores da atividade da urease no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

A atividade da urease no solo apresentou diferenças significativas em relação ao fator sistema de uso do solo em todas as profundidades avaliadas. Entre 0 a 5 cm, a atividade da urease foi mais intensa no solo cultivado com braquiária, contudo o valor registrado no solo cultivado com braquiária não diferiu significativamente comparado ao valor da atividade da urease no solo da mata, o qual também não diferiu do valor observado no solo cultivado com mombaça, que, por sua vez, também não diferiu do valor da atividade da urease no solo cultivado com milho, cuja atividade foi a de menor intensidade comparada a atividade no solo da mata e cultivado com braquiária.

Na profundidade de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, a atividade da urease no solo da mata e no solo cultivado com mombaça, não diferiu significativamente, mas foram superiores as atividades da urease observadas nos solos cultivados com milho e mombaça, que não diferiram significativamente quando comparados entre si. Na maior profundidade avaliada, 20 a 30 cm, a atividade da urease foi mais intensa no solo cultivado com braquiária. Contudo, o valor observado no solo cultivado com braquiária não diferiu significativamente comparado ao valor da atividade da urease no solo da mata, o qual também não diferiu do valor observado no solo cultivado com milho, que, por sua vez, também não diferiu do valor apresentado no solo cultivado com mombaça, cuja atividade foi a de menor intensidade comparada a atividade no solo da mata e cultivado com braquiária.

**Tabela 24** - Valores da atividade da urease ( $\mu\text{g NH}_4\text{-N.g S}^{-1}\text{.h}^{-1}$ ) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solos e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.<sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	90,51 A a	125,16 A a	77,76 A a	32,18 A a	81,40 A
	Julho	49,29 A a	64,36 A a	19,16 A a	42,41 A a	43,81 B
	Novembro	78,64 A a	104,14 A a	77,64 A a	50,45 A a	77,72 A
Média	72,81 ab	97,89 a	58,19 bc	41,68 c	67,64	
CV (%) = 37,83		DMS1 = 28,14		DMS2 = 22,12 <sup>2</sup>		
5-10 cm	Abril	96,56 A a	84,33 A a	54,99 A a	30,80 A a	66,67 A
	Julho	56,52 A a	58,59 A a	12,74 A a	21,47 A a	37,33 B
	Novembro	67,29 A a	66,52 A a	23,91 A a	37,90 A a	48,91 AB
Média	73,46 a	69,81 a	30,55 b	30,06 b	50,97	
CV (%) = 40,55		DMS1 = 22,73		DMS2 = 17,87 <sup>2</sup>		
10-20 cm	Abril	67,23 A a	77,63 A a	45,84 A a	25,13 A a	53,96 A
	Julho	46,66 A a	28,05 A a	15,73 A a	27,78 A a	29,55 B
	Novembro	50,67 A a	50,02 A a	25,19 A a	38,45 A a	41,09 AB
Média	54,85 a	51,90 a	28,92 b	30,45 b	41,53	
CV (%) = 42,41		DMS1 = 19,37		DMS2 = 15,23 <sup>2</sup>		
20-30 cm	Abril	56,66 A a	56,55 A a	36,71 A a	34,46 A a	46,10 A
	Julho	25,00 A a	30,43 A a	7,76 A a	25,51 A a	22,18 B
	Novembro	48,81 A a	43,89 A a	12,07 A a	23,20 A a	31,99 B
Média	43,49 ab	43,62 a	18,85 c	27,73 bc	33,42	
CV (%) = 42,95		DMS1 = 15,79		DMS2 = 12,41 <sup>2</sup>		
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		10,414***	16,061***	7,307***	8,744***	
Época de Coleta (E)		10,496***	8,182**	7,688**	11,228***	
SU x E		1,857ns	0,864ns	1,834ns	0,928ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

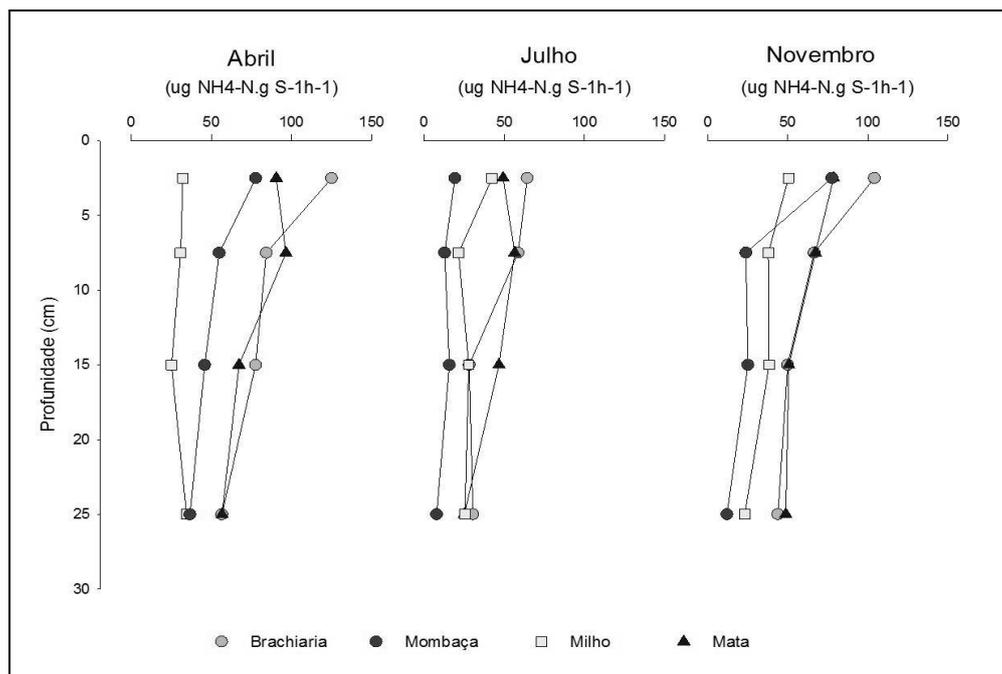
<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Quanto ao fator época de coleta, diferenças ocorreram em todas as profundidades. Entre 0 a 5 cm, a diferença ocorreu entre os maiores valores da atividade da urease no solo observados em abril e novembro, que não diferiram significativamente entre si, porém foram superiores ao valor da atividade da urease no mês de julho. Entre 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, a maior atividade da urease no solo ocorreu em abril comparado ao mês de julho, enquanto que no mês de novembro o valor da atividade da urease foi intermediário, sem diferença significativa em relação aos dois outros meses. Na profundidade de 20 a 30 cm, o mês de abril correspondeu a época com maior atividade da urease no solo comparado aos meses de julho e novembro, cujos valores não diferiram significativamente comparados entre si.

O efeito da interação entre os fatores sistemas de uso do solo e época de coleta não apresentaram diferenças significativas para atividade da urease no solo em todas as profundidades avaliadas.

As repostas observadas restringiram-se aos efeitos isolados dos fatores avaliados. Os resultados mais destacados em relação as épocas de coleta relacionam-se, em geral, aos maiores valores na atividade da urease no solo nos meses de abril e novembro. De forma mais contextualizada, o solo da área de mata e o cultivado com braquiária apresentaram os maiores valores para atividade da urease no solo, enquanto que os solos cultivados com milho e mombaça, os menores valores.

A atividade da urease é um indicador da qualidade do solo, sendo influenciada pelo teor de argila, de carbono, de metais pesados, concentração do substrato, nível de umidade, temperatura e pH do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; LONGO; MELO, 2005). Dessa maneira, variações relacionadas a atividade da urease decorrente de manejos diferenciados são relatadas confirmando as diferenças observadas no presente estudo.



**Figura 28** - Atividade da urease em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Marriel et al. (2005) avaliando a atividade da urease como bioindicador de qualidade do solo para produção orgânica em diferentes coberturas

vegetais, cerrado natural, cultivo de mucuna, cultivo de crotalária e milho, identificaram diferenças, com o cerrado natural apresentando maiores atividades da urease, tendo na seqüência a mucuna, crotalária e milho.

Avaliando a atividade da urease em um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais (cerrado e pastagem) e manejos (milheto em plantio convencional, nabo e sorgo em plantio direto, Carneiro et al. (2009) não encontraram diferenças significativas, contudo os maiores valores foram observados no cerrado seguido pela pastagem.

Em estudo realizado por Carneiro et al. (2008) em dois solos, Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho com diferentes coberturas vegetais, a atividade da urease apresentou diferenças significativas, sendo que no primeiro tipo de solo apresentou o maior valor em pastagem cultivada com *Brachiária decumbens*. No segundo solo analisado, a pastagem cultivada também com *Brachiária decumbens* apresentou o segundo maior valor de atividade da urease, sendo inferior ao valor obtido no solo sob cerrado natural, usado como referência nas duas situações do estudo.

Comparando os resultados obtidos nos estudos de Marriel et al. (2005), Carneiro et al. (2009), e Carneiro et al. (2008) com os resultados do presente estudo, observa-se que as atividades da urease foram maiores nos sistemas naturais usados como referência. Esta situação pode estar relacionada ao exposto por Cantarella (2007). Segundo o mesmo autor, a atividade da urease é maior em plantas e resíduos vegetais do que no solo, de maneira que solos contendo restos de cultura, como áreas de plantio direto e áreas com resíduos de plantas na superfície dos solos, tendem a apresentar maior atividade da urease .

O maior valor para atividade da urease no solo da mata pode ser atribuído a maior umidade do solo registrada nesse sistema (Tabela 32). Conforme exposto por Cantarella (2007) a taxa de hidrólise, pela atividade da urease, aumenta conforme o teor de umidade do solo se eleva, embora a partir de 20% a taxa de hidrólise seja pouco afetada pela teor de água no solo. Em outra análise, o maior valor para atividade da urease no solo da mata também pode ser atribuído a maior deposição de resíduos vegetais neste sistema (Tabela 31) em conformidade com o exposto por Cantarella (2007).

Os resultados mais destacados em relação as épocas de coleta

relacionam-se, em geral, aos maiores valores na atividade da urease no solo nos meses de abril e novembro e menores valores em julho. A menor atividade da urease no mês de julho, coincide com o período em que foram registrados os menores valores de umidade do solo (Tabela 32) resultante da menor precipitação pluviométrica no período (Tabela 3), fato que pode ter contribuído, justificando o resultado para o fator épocas de coleta. Longo e Melo (2005), avaliando o efeito do tipo de sistemas de cultivo (culturas de pinus, eucalipto, citrus, soja e milho) e época de amostragem de solo na atividade da urease observaram que a velocidade da hidrólise da uréia decorrente da atividade da urease apresentou valores mais elevados nos meses mais quentes e úmidos. Esta situação observada pelos autores pode estar relacionada com o resultado no presente estudo, em que registrou-se uma associação entre a maior atividade da urease com maior teor de umidade no solo.

#### **4.2.6 Fosfatase Ácida**

A Tabela 25 e Figura 29 apresentam os resultados relacionados aos valores atividade da fosfatase ácida no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

O efeito do fator sistemas de uso do solo na atividade da fosfatase ácida, ocorreu em todas as profundidades estudadas. Diferenças significativas ocorreram de maneira semelhante nas profundidades de 0 a 5 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, onde os valores apresentaram uma sequência decrescente correspondentes aos solo da mata, com maior atividade da fosfatase ácida, solo cultivado com braquiária, com mombaça e com milho, sendo que estes dois últimos sistemas não diferiram entre si. Na profundidade de 5 a 10 cm a atividade da fosfatase ácida não diferiu significativamente comparando o solo da mata e o solo cultivado com braquiária, os quais apresentaram valores superiores comparados aos solos cultivados com mombaça e com milho, que também não foram diferentes significativamente quando comparados entre si.

A atividade da fosfatase ácida do solo em relação ao fator épocas de coleta de solo também apresentou diferenças semelhantes nas profundidades de 0 a 5 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, onde os valores observados no mês de abril apresentaram diferenças significativas, sendo superiores aos valores nos

meses de julho e novembro, os quais não diferiram significativamente comparados entre si. Na profundidade de 5 a 10 cm, a diferença significativa ocorreu entre a atividade da fosfatase ácida observada em abril, que apresentou maior valor, comparada ao mês de julho, que apresentou menor valor, enquanto que no mês de novembro o valor observado foi intermediário e não diferiu significativamente dos valores observados nos meses de abril e julho.

**Tabela 25** - Valores da atividade da fosfatase ácida ( $\mu\text{g NPP.gS}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.<sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	3264,39 A a	2621,52 A a	1567,28 A a	1353,94 A a	2201,78 A
	Julho	2827,54 A a	2110,38 A a	1310,91 A a	910,72 A a	1789,89 B
	Novembro	2531,58 A a	2144,20 A a	1113,68 A a	633,52 A a	1605,75 B
Média		2874,50 a	2292,03 b	1330,62 c	966,06 c	1865,80
CV (%) = 19,56		DMS1 = 401,38		DMS2 = 315,47 <sup>2</sup>		
5-10 cm	Abril	2963,49 A a	2667,81 A a	1656,63 A a	1507,55 A a	2198,87 A
	Julho	2370,99 A a	2103,98 A a	1365,63 A a	1159,78 A a	1750,10 B
	Novembro	2642,44 A a	2853,15 A a	1331,97 A a	1012,97 A a	1960,13 AB
Média		2658,97 a	2541,65 a	1451,41 b	1226,77 b	1969,70
CV (%) = 18,65		DMS1 = 404,06		DMS2 = 317,58 <sup>2</sup>		
10-20 cm	Abril	2386,95 A a	2176,87 A a	1585,62 A a	1535,36 A a	1921,20 A
	Julho	2105,18 A a	1763,81 A a	1277,73 A a	1173,70 A a	1580,10 B
	Novembro	2302,14 A a	1798,08 A a	1308,89 A a	941,81 A a	1587,73 B
Média		2264,76 a	1912,92 b	1390,75 c	1216,95 c	1696,34
CV (%) = 17,30		DMS1 = 322,74		DMS2 = 253,66 <sup>2</sup>		
20-30 cm	Abril	2113,44 A a	1883,62 A a	1391,73 A a	1501,56 A a	1722,59 A
	Julho	1638,09 A a	1448,76 A a	1063,00 A a	1157,47 A a	1326,83 B
	Novembro	1691,44 A a	1220,10 A a	1008,70 A a	911,18 A a	1207,85 B
Média		1814,32 a	1517,49 b	1154,47 c	1190,07 c	1419,09
CV (%) = 18,50		DMS1 = 288,79		DMS2 = 226,98 <sup>2</sup>		
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		68,940***	48,100***	32,205***	16,733***	
Época de Coleta (E)		11,191***	5,978**	7,050**	16,856***	
SU x E		0,289ns	1,333ns	0,618ns	0,422ns	

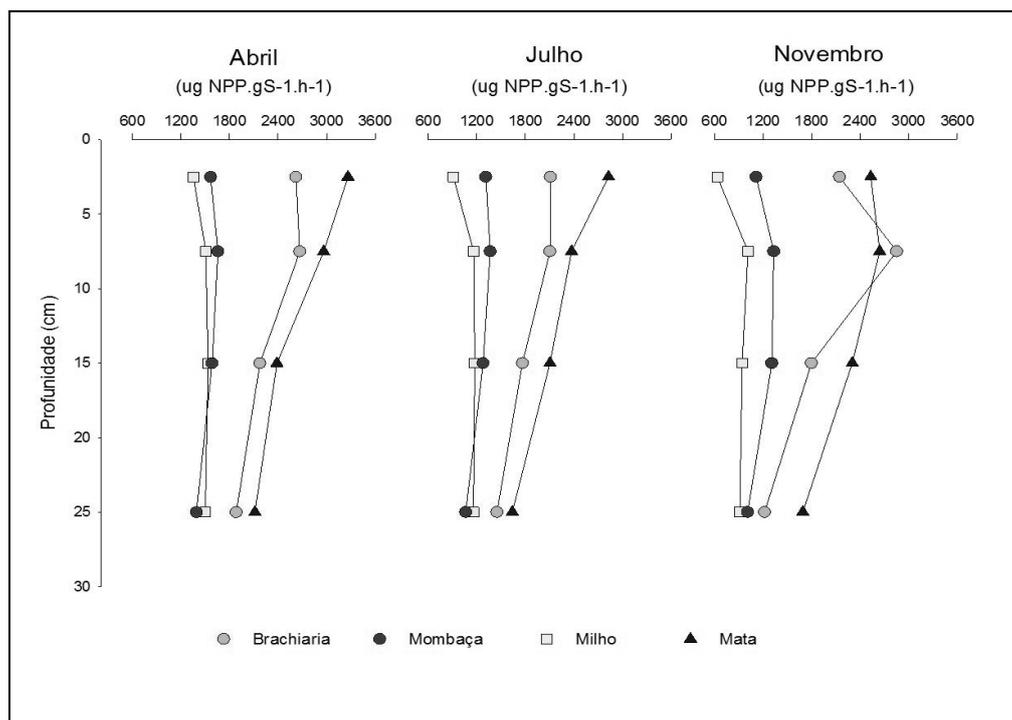
<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

O efeito da interação entre os fatores sistemas de uso do solo e época não apresentaram diferenças significativas para atividade da fosfatase ácida no

solo em todas as profundidades avaliadas.



**Figura 29** - Atividade da fosfatase ácida em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Mendes e Reis Junior (2004), avaliando impactos de sistemas de plantio direto e plantio convencional nas propriedades microbiológicas e bioquímicas do solo em época seca e chuvosa, nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 20 cm, tendo áreas nativas como referência, observaram que independentemente da época de amostragem, nas duas profundidades analisadas, os maiores níveis de atividade da fosfatase ácida foram nas áreas nativas. Os autores atribuíram o resultado ao fato de que a falta de entrada de fósforo via fertilizantes químicos nessas áreas, fez com que toda a ciclagem do fósforo fosse feita pela solubilização de fontes pouco solúveis, principalmente pela mineralização do fósforo da matéria orgânica pelas fosfatases. Os autores atestaram ainda que a redução da atividade da fosfatase nas áreas cultivadas estava relacionada ao efeito inibidor do uso de adubos fosfatados prontamente solúveis. Dessa maneira, no presente estudo, em geral, o solo da mata apresentou os maiores valores para atividade da fosfatase ácida comparado aos demais sistemas de uso analisados, situação que pode estar relacionada aos resultados alcançados por Mendes e Reis Junior (2004), haja vista que os demais

sistemas receberam adubações químicas, e também pode estar relacionada ao fato de se tratar do sistema mais preservado. Matsuoka, Mendes e Loureiro (2003), comentam que o melhor estado de fertilidade do solo quanto ao teor de fósforo diminui a dependência do sistema em relação a ciclagem do fósforo orgânico pela atividade da fosfatase ácida, resultando em menores níveis de atividade dessa enzima.

Por outro lado, Jakelaitis et al. (2008), em estudo sobre a qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas, observaram diferenças nos sistemas analisados, sendo os maiores valores de atividades da fosfatase ácida registrados na área de mata, na área de pastagem formada pelo consórcio de milho com *Brachiaria brizantha* e na área de milho cultivado em plantio direto, enquanto que a área com *Brachiaria brizantha* sem nenhuma integração, apresentou o menor valor. Os mesmos autores comentam que os resultados observados nesse estudo, contrariaram trabalhos de vários autores que registram que as fosfatases têm sua atividade aumentada em ambientes preservados.

As respostas em relação ao fator época, onde o maiores valores para atividade da fosfatase ácida acontecem no mês de abril, coincidem com o mês de maior precipitação pluviométrica, mês onde foi observado também maior umidade no solo (Tabela 32).

#### **4.2.7 Amônio**

A Tabela 26 e Figura 30 apresentam os resultados relacionados aos teores de amônio no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Considerando os sistemas de uso do solo, diferenças ocorreram em todas as profundidades. Entre 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, o menor teor de amônio ocorreu no solo cultivado com milho comparado aos demais sistemas que não apresentaram diferenças significativas comparados entre si. Nas profundidades de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm, a diferença significativa ocorreu entre os solo cultivado com braquiária e o solo cultivado com milho com o maior e menor teor de amônio, respectivamente. Os solos da mata e cultivado com mombaça não diferiram entre si e também não apresentaram diferenças significativas nos

seus teores de amônio comparados aos solos com os valores extremos para os teores de amônio.

**Tabela 26** - Valores médios do teor de amônio ( $\mu\text{g/g}$ ) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	27,05 A a	23,42 B a	20,36 B a	13,27 A a	21,03 AB
	Julho	24,87 A a	14,97 B ab	14,23 B ab	3,95 A b	14,50 B
	Novembro	22,77 A bc	43,33 A a	40,96 A ab	10,30 A c	29,34 A
Média		24,90 a	27,24 a	25,18 a	9,17 b	21,62
CV (%) = 44,61		DMS1 = 10,61		DMS2 = 8,34	DMS3 = 18,38	DMS4 = 16,68 <sup>2</sup>
5-10 cm	Abril	20,82 A a	17,95 A a	16,89 A a	9,92 A a	16,39 A
	Julho	17,01 A a	15,64 A a	11,00 A a	6,11 A a	12,44 A
	Novembro	14,19 A a	26,02 A a	18,32 A a	6,74 A a	16,32 A
Média		17,34 a	19,87 a	15,40 a	7,59 b	15,05
CV (%) = 47,21		DMS1 = 7,82 <sup>2</sup>				
10-20 cm	Abril	16,98 A a	15,11 A a	14,29 A a	5,36 A a	12,93 A
	Julho	8,10 A a	13,28 A a	7,63 A a	4,73 A a	8,43 A
	Novembro	8,18 A a	14,93 A a	11,42 A a	6,08 A a	10,15 A
Média		11,09 ab	14,44 a	11,11 ab	5,39 b	10,51
CV (%) = 53,82		DMS1 = 6,22 <sup>2</sup>				
20-30 cm	Abril	12,41 A a	12,21 A a	11,38 A a	8,17 A a	11,04 A
	Julho	7,28 A a	10,01 A a	8,38 A a	4,28 A a	7,49 B
	Novembro	8,24 A a	7,99 A a	7,66 A a	6,10 A a	7,50 B
Média		9,31 ab	10,07 a	9,14 ab	6,19 b	8,68
CV (%) = 38,96		DMS1 = 3,72		DMS2 = 2,92 <sup>2</sup>		
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		9,025***	6,676**	5,301**	3,069*	
Época de Coleta (E)		9,510***	1,621ns	2,578ns	5,878**	
SU x E		3,067*	1,044ns	0,753ns	0,323ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*( $P < 0,05$ ), \*\*( $P < 0,01$ ), \*\*\*( $P < 0,001$ ).

Quanto ao fator época, diferenças foram observadas nas profundidades de 0 a 5 cm e 20 a 30 cm, enquanto nas profundidades de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm não ocorreram diferenças significativas entre as épocas de coleta de solo. Entre 0 a 5 cm, o teor de amônio no solo em novembro foi superior ao teor em julho, enquanto que em abril o teor de amônio apresentou valor intermediário, porém, sem diferir significativamente dos teores registrados nos meses de julho e novembro. Na profundidade de 20 a 30 cm, o teor de amônio no solo em abril

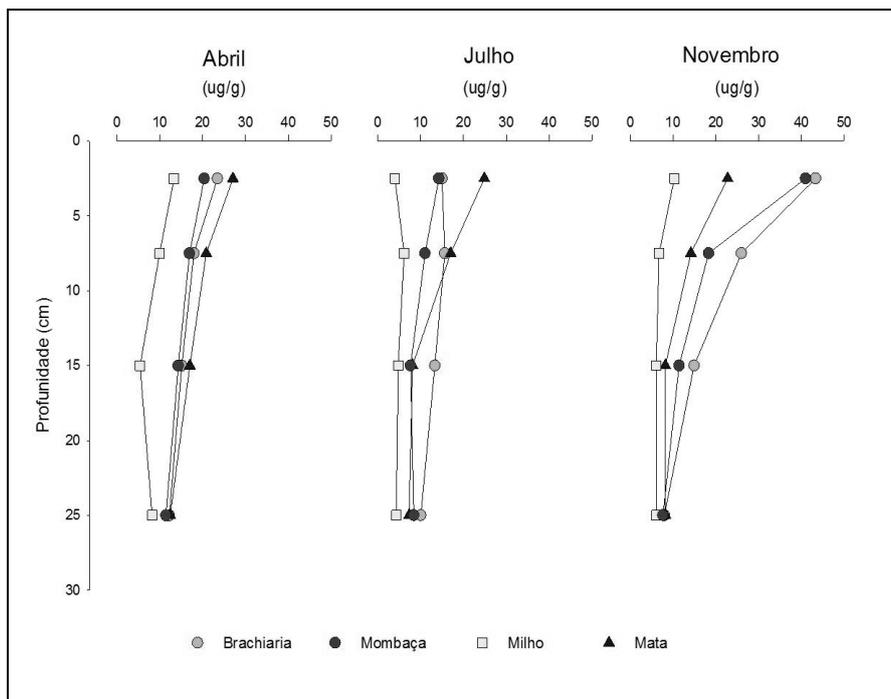
foi maior que os teores em julho e novembro, os quais não diferiram significativamente quando comparados entre si.

O efeito de épocas de coleta em cada sistema de uso do solo na profundidade de 0 a 5 cm não ocorreu nos solos da mata e cultivado com milho. Entretanto, diferenças significativas ocorreram no solo cultivado com braquiária e com mombaça, onde, nos dois sistemas, o maior teor de amônio foi em novembro quando comparado com os meses de abril e julho que não diferiram significativamente quando comparados entre si.

No desdobramento da interação de sistemas de uso do solo em cada época de coleta, na profundidade de 0 a 5 cm, diferenças significativas ocorreram nos meses de julho e novembro. Em julho, a diferença ocorreu entre o teor de amônio observado no solo da mata, com maior teor, comparado ao solo cultivado com milho, com menor teor. Os teores de amônio nos solos cultivados com braquiária e com mombaça, apresentaram valores intermediários, não diferindo significativamente comparados entre si, e também quando comparados com os teores observados no solo da mata e no solo cultivado com milho.

No mês de novembro, ainda na profundidade de 0 a 5 cm, o solo cultivado com braquiária apresentou maior teor de amônio comparado ao solo da mata e ao solo cultivado com milho. Entretanto, o teor de amônio observado no solo cultivado com braquiária não apresentou diferença significativa comparado ao solo cultivado com mombaça, que, por sua vez, não apresentou diferença significativa tendo seu teor de amônio comparado ao teor observado no solo da mata, que também não registrou teor de amônio significativamente diferente do teor no solo cultivado com milho.

Nas profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm não ocorreram efeitos da interação sistemas de uso e épocas de coleta de solo para os teores de amônio no solo.



**Figura 30** - Teores de amônio em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Segundo Cassini (2005), a mineralização do nitrogênio é entendida como a conversão do nitrogênio orgânico na sua forma inorgânica, porém o primeiro produto dessa transformação é o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Contudo, segundo o mesmo autor, como o  $\text{NH}_4^+$  sofre rápida oxidação à nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), a avaliação da mineralização do nitrogênio orgânico se realiza por medidas de  $\text{NH}_4^+$  e também de  $\text{NO}_3^-$ . Diante deste contexto, na presente avaliação, considerando valores obtidos para os teores de amônio e os teores de nitrato (Tabelas 26 e 27), observou-se que, em geral, os teores de amônio foram maiores. Esta situação, segundo Cassini (2005), é comum em áreas de pastagens, havendo evidências de que exudatos excretados por raízes reduzem a taxa de nitrificação. Poletto, Grohs e Mundstock (2008) comenta que em florestas e em pastagens naturais o  $\text{NH}_4^+$  é a forma predominante.

Nas condições de Paragominas, Davidson et al. (2004), em estudo com nitrogênio e fósforo em um solo de floresta secundária que sucedeu pastagem degradada e abandonada, observaram o predomínio do  $\text{NH}_4^+$  sobre o  $\text{NO}_3^-$ , situação que, segundo os autores, sugeria uma forte capacidade de imobilização de nitrogênio no solo e, conseqüentemente, um ciclo de nitrogênio, nas condições do estudo, de forte conservação do nitrogênio no solo.

Os efeitos observados em relação aos menores teores de amônio no solo cultivado com milho sugerem maior nitrificação neste sistema de uso do solo, haja vista que para o teor de nitrato no solo para o mesmo sistema de uso (Tabela 27) foram registrados os maiores teores de nitrato.

Os efeitos da época de coleta de solo foram verificados somente na camada superficial do solo (0 a 5 cm) e na camada mais profunda (20 a 30 cm), onde, em geral, nas duas profundidades supracitadas, o menor teor de amônio foi observado no mês de julho e o maior teor de amônio foi observado no mês de abril, meses, quando comparados, de menor e maior precipitação pluviométrica, respectivamente (Tabela 3). Em consequência, estes resultados podem estar associados a menor e maior umidade do solo registradas nos respectivos meses (Tabela 32). Dessa maneira, é possível que a condição de maior umidade do solo tenha desfavorecido a nitrificação pelo baixo suprimento de  $O_2$  (CANTARELLA, 2007). Segundo Poletto, Grohs e Mundstock (2008), as taxas de amonificação, nitrificação e desnitrificação são regidas por fatores que interferem diretamente na atividade microbiana, como pH, temperatura, aeração e umidade do solo. Por outro lado, Luizão, Costa e Luizão (1999), na Amazônia central, estudando as transformações de nitrogênio do solo em pastagens com diferentes idades após derruba e queima da floresta, observaram a predominância de nitrogênio inorgânico na forma de  $NH_4^+$  nas pastagens, especialmente, em medidas realizadas na estação seca.

#### **4.2.8 Nitrato**

A Tabela 27 e Figura 31 apresentam os resultados relacionados aos teores de nitrato no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Na avaliação dos sistemas de uso do solo ocorreu diferenças significativas em todas as profundidades avaliadas. Entre 0 a 5 cm os maiores teores de nitrato ocorreram nos solos da mata e cultivado com o milho, os quais não apresentaram diferenças quando comparados entre si, entretanto apresentaram teores de nitrato superiores aos ocorridos nos solos cultivados com mombaça e com braquiária, que também não diferiram significativamente

entre si. Na profundidade de 5 a 10 cm apresentaram teores iguais estatisticamente, quando comparados entre si, os solos da mata e cultivado com milho, os solos cultivados com milho e com mombaça, os solos cultivados com mombaça e com braquiária, sendo as diferenças observadas entre o solo da mata, com maior teor de nitrato, comparado aos teores nos solos cultivados com mombaça e com braquiária, entre o teor de nitrato do solo cultivado com milho, com teor superior, comparado ao teor de nitrato observado no solo cultivado com braquiária.

**Tabela 27** - Valores médios do teor de nitrato ( $\mu\text{g/g}$ ) do solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	16,88 A a	3,36 A b	7,30 A b	7,51 B b	8,76 B
	Julho	6,76 B a	4,51 A a	6,69 A a	3,99 B a	5,49 B
	Novembro	13,16 AB b	4,79 A c	7,94 A bc	27,49 A a	13,34 A
Média		12,26 a	4,22 b	7,31 b	12,99 A	9,20
CV (%) = 44,56		DMS1 = 4,51		DMS2 = 3,54	DMS3 = 7,81	DMS4 = 7,09 <sup>2</sup>
5-10 cm	Abril	15,22 A a	4,00 A b	5,44 A b	8,22 B b	8,22 A
	Julho	4,67 B a	4,89 A a	6,04 A a	4,14 B a	4,94 B
	Novembro	12,48 A a	4,19 A b	5,14 A b	15,20 A a	9,25 A
Média		10,79 a	4,36 c	5,54 bc	9,19 ab	7,47
CV (%) = 47,60		DMS1 = 3,91		DMS2 = 3,07	DMS3 = 6,77	DMS4 = 6,15 <sup>2</sup>
10-20 cm	Abril	10,58 A a	3,94 A b	3,87 A b	7,94 B ab	6,58 A
	Julho	4,05 B a	4,60 A a	8,53 A a	5,19 B a	5,59 A
	Novembro	8,37 AB ab	4,01 A b	5,10 A b	13,59 A a	7,77 A
Média		7,67 a	4,18 b	5,83 ab	8,91 A	6,65
CV (%) = 44,90		DMS1 = 3,28		DMS3 = 5,69	DMS4 = 5,16 <sup>2</sup>	
20-30 cm	Abril	8,89 A a	3,72 A b	3,71 A b	4,75 B b	5,27 AB
	Julho	3,19 B a	3,91 A a	4,98 A a	3,80 B a	3,97 B
	Novembro	7,04 A b	3,65 A b	4,19 A b	11,33 A a	6,55 A
Média		6,37 a	3,76 b	4,29 b	6,62 A	5,26
CV (%) = 35,95		DMS1 = 2,08		DMS2 = 1,63	DMS3 = 3,60	DMS4 = 3,27 <sup>2</sup>
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		12,410***	8,655***	5,786**	7,036***	
Época de Coleta (E)		14,848***	6,429**	2,127ns	7,473**	
SU x E		9,962***	4,363**	4,576**	7,093***	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup> ns: não significativo; \*( $P < 0,05$ ), \*\*( $P < 0,01$ ), \*\*\*( $P < 0,001$ ).

Na profundidade de 10 a 20 cm, na comparação entre os sistemas de

uso, os teores de nitrato apresentados entre os solos da mata e do solo cultivado com milho, foram estatisticamente iguais, entretanto, foram superiores quando comparados ao teor no solo cultivado com braquiária. O teor de nitrato apresentado pelo solo cultivado com mombaça apresentou valor intermediário e não foi diferente significativamente dos teores observados nos demais sistemas de uso do solo avaliados. Entre 20 a 30 cm, as diferenças entre os teores de nitrato nos diferentes sistemas de uso do solo foram semelhantes às apresentadas na profundidade de 0 a 5 cm, onde os maiores teores ocorreram nos solos da mata e cultivado com o milho, os quais não apresentaram diferenças quando comparados entre si, entretanto, apresentaram teores superiores aos ocorridos nos solos cultivados com mombaça e braquiária, que também não diferiram significativamente entre si.

Quanto ao efeito de época, entre 0 a 5 cm, o maior teor de nitrato ocorreu em novembro, enquanto que os menores teores ocorreram em abril e julho, sendo que os teores observados nestes meses, não diferiram significativamente quando comparados. Entre 5 a 10 cm, os teores de nitrato observados nos meses de abril e novembro não apresentaram diferença significativa comparados entre si, registrando os maiores teores no solo, foram, porém, significativamente diferentes quando comparados ao teor de nitrato no solo observado no mês de julho. Na profundidade de 10 a 20 cm, não ocorreu diferença significativa entre os teores de nitrato no solo nos meses avaliados. Na profundidade de 20 a 30 a diferença significativa ocorreu entre o mês de novembro, com maior teor de nitrato no solo quando comparado ao teor no mês de julho, enquanto o teor de nitrato no solo no mês de abril não diferiu dos dois outros meses.

Na interação entre época de coleta de solo em cada sistema de uso, os teores de nitrato nos solos cultivados com braquiária e mombaça não apresentaram diferenças significativas relacionadas às épocas avaliadas em todas as profundidades avaliadas.

Na profundidade de 0 a 5 cm, no solo cultivado com milho o maior teor de nitrato ocorreu em novembro, enquanto que em abril e julho, os teores foram menores e não diferiram significativamente quando comparados entre si. No solo da mata, diferença significativa ocorreu entre os teores de nitrato no solo observados em abril e julho, com maior e menor teor, respectivamente,

enquanto que o teor de nitrato no solo em novembro não diferiu dos teores observados nos dois outros meses avaliados. Na profundidade de 5 a 10 cm, no solo da mata, os teores de nitrato no solo observados em abril e novembro não foram significativamente diferentes, porém, com maiores teores, foram significativamente superiores quando comparados ao teor de nitrato no solo registrado em julho. O solo cultivado com milho apresentou o maior teor de nitrato no solo em novembro, enquanto que em abril e julho, os teores foram menores e não diferiram significativamente quando comparados entre si.

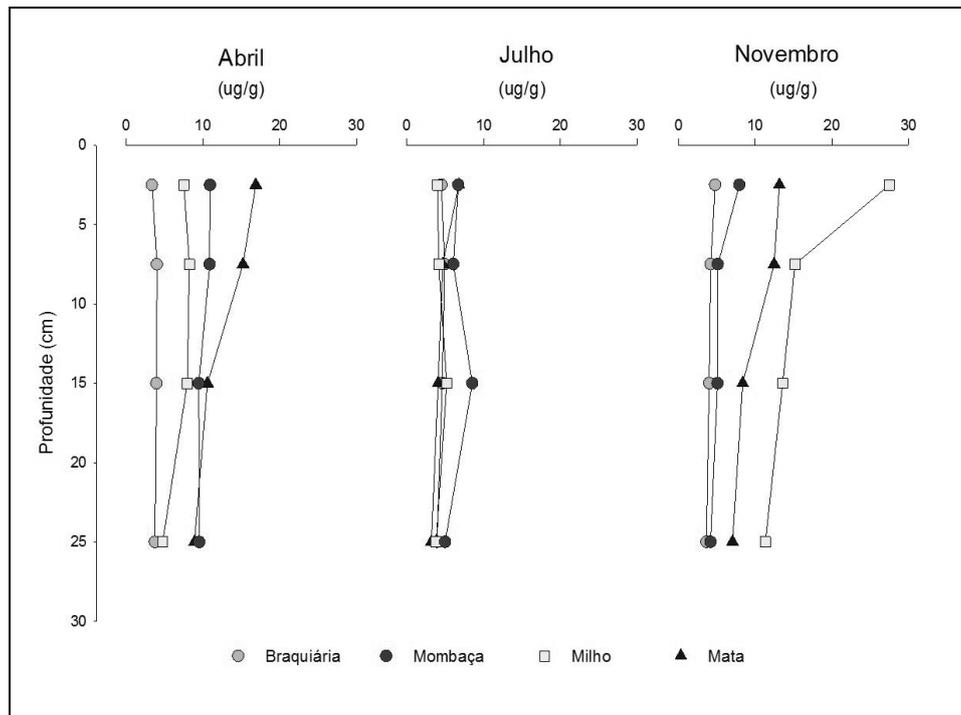
Na profundidade de 10 a 20 cm, no solo cultivado com milho, o maior teor de nitrato no solo ocorreu em novembro, enquanto que em abril e julho, os teores foram menores e não diferiram significativamente quando comparados entre si. Na mata, o teor de nitrato apresentou diferença significativa entre abril e julho, com maior e menor teor, respectivamente, enquanto que o teor de nitrato no solo em novembro apresentou valor intermediário, porém, não diferiu dos teores observados nos dois outros meses. Entre 20 a 30 cm, no solo cultivado com milho, o maior teor de nitrato ocorreu em novembro, enquanto que em abril e julho, os teores foram menores e não diferiram significativamente comparados entre si. Na mata, os teores de nitrato no solo em abril e novembro não diferiram comparados entre si apresentando, entretanto, teores significativamente superiores comparados ao teor de nitrato no solo observado em julho.

Na interação de sistemas de uso em cada época de coleta de solo, os teores de nitrato no solo observados no mês de julho não apresentaram diferenças significativas em relação aos sistemas de uso em todas as profundidades avaliadas. Entre 0 a 5 cm, no mês de abril, o maior teor de nitrato no solo ocorreu na mata, enquanto que os demais sistemas apresentaram teores de nitrato no solo iguais estatisticamente. Em novembro o maior teor de nitrato, com diferença significativa, ocorreu no solo cultivado com milho, sendo que em uma seqüência decrescente de valores seguiram os teores de nitrato nos solos da mata, cultivado com mombaça e cultivado com braquiária. Porém, o teor no solo cultivado com mombaça não diferiu significativamente dos teores apresentados pelos solos da mata e cultivado com braquiária, os quais apresentaram diferenças significativas comparados entre si.

Avaliando a profundidade entre 5 a 10 cm, no mês de abril, o teor de nitrato no solo da mata foi significativamente superior comparado aos demais sistemas avaliados, os quais apresentaram menores teores de nitrato no solo, sem diferirem significativamente comparados entre si. No mês de novembro, os teores de nitrato nos solos da mata e cultivado com milho não apresentaram diferença significativa, porém, foram significativamente superiores comparados aos teores observados nos solos cultivados com braquiária e com mombaça, que também não apresentaram diferença significativa quando comparados entre si.

Na profundidade de 10 a 20 cm, no mês de abril o teor de nitrato no solo da mata foi significativamente superior aos teores observados nos solos cultivados com braquiária e com mombaça, os quais não apresentaram diferenças significativas comparados entre si, enquanto que o teor de nitrato no solo cultivado com milho, apresentou valor intermediário e não diferiu dos demais sistemas de uso. Em novembro, o teor de nitrato no solo do milho foi superior ao teor de nitrato nos solos cultivados com braquiária e mombaça, os quais não apresentaram diferenças significativas comparados entre si, enquanto que o teor de nitrato no solo da mata apresentou valor intermediário e não diferiu dos demais sistemas de uso. Na profundidade de 20 a 30 cm, em abril, o maior teor de nitrato no solo ocorreu na mata, enquanto que os demais sistemas apresentaram teores de nitrato no solo sem diferirem significativamente. Em novembro, o maior teor de nitrato no solo ocorreu no milho, enquanto que os demais sistemas apresentaram teores de nitrato que não apresentaram diferenças significativas quando comparados entre si.

Os resultados do presente estudo, pelos menores teores de nitrato observados nos solos cultivados com braquiária e com mombaça, sugerem, alternativamente ou simultaneamente, nesses sistemas de uso do solo, menor nitrificação, maior imobilização do nitrato, desnitrificação ou ainda perdas por lixiviação. Nos solos, o nitrato pode ser reduzido por processos assimilatórios e dissimilatórios, dentre eles, a redução assimilatória pela qual os microrganismos incorporam o nitrato as suas células, a redução dissimilatória do nitrato para amônio, e a desnitrificação do nitrato para  $N_2$  e  $N_2O$ , reguladas pela disponibilização de  $O_2$  (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CANTARELLA, 2007) .



**Figura 31** - Teores de nitrato em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Por outro lado, o menor teor de nitrato nos solos cultivados sob as pastagens de braquiária e mombaça e o maior teor de nitrato no solo da mata observados no presente estudo podem estar relacionados aos resultados alcançados por Carmo et al. (2005) e ao exposto por Cantarella (2007). Segundo Cantarella (2007), a nitrificação pode diminuir em solos cultivados com algumas gramíneas forrageiras. Acrescenta o autor, citando vários trabalhos, que extratos de gramíneas forrageiras e exsudatos de raízes exibiram capacidade de inibir temporariamente a nitrificação.

Carmo et al. (2005), estudando a disponibilidade de nitrogênio e o fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  em pastagem de *Brachiaria brizantha* em Rondônia, observaram que os teores de amônio no solo eram superiores aos de nitrato, situação que não se verificava em solos de floresta onde os teores de nitrato e de amônio eram equilibrados. Observaram também que o potencial de nitrificação dos solos de pastagem eram inferiores aos dos solos de floresta. Os mesmos autores comentando os resultados relatam que os baixos valores do potencial de nitrificação dos solos sob pastagens explicam os baixos teores de nitrato encontrados nestes solos que podem, provavelmente, decorrer da existência de poucos microrganismos nitrificadores nestas condições (VERCHOT et al

(1999) apud CARMO et al., 2005), da existência no solo de microssítios anaeróbicos (KHALIL et al (2002) apud CARMO et al., 2005) ou pela alta atividade respiratória do sistema radicular das gramíneas.

Os maiores teores de nitrato observados no solo cultivado com milho, sugerem uma melhor condição antecedente para o processo de nitrificação, atribuída as adubações realizadas com fertilizantes químicos por ocasião do plantio e também em cobertura. Esta situação pode estar relacionada ao exposto por Alfaia, Uguen e Rodrigues (2008), segundo estes autores, em Latossolos e Argissolos onde as taxas de nitrificação eram baixas, com a adição de uréia, os teores de nitrato aumentaram quando comparados ao teores obtido pela aplicação de sulfato de amônio.

Quanto ao efeito de época, em que o mês de julho foi o que apresentou os menores teores de nitrato, coincide com o mês de baixíssima precipitação pluviométrica (Tabela 3) e conseqüentemente, onde observou-se menor teor de umidade no solo (Tabela 32), admitindo, portanto, a possibilidade de influência deste fator no resultado. Outra possibilidade, relaciona-se à imobilização pela biomassa microbiana (Tabela 23) decorrente da necessidade de decomposição de material orgânico proporcionado pela maior quantidade de liteira registrada no mês de julho (Tabela 31).

Os maiores teores de nitrato observados no solo cultivado com milho no mês de novembro pode ser justificado pelo acúmulo de nitrato decorrente das adubações realizadas para o milho somado ao fato de se tratar de um sistema de integração lavoura-pecuária ainda em formação onde a pastagem de *Brachiaria ruziziensis* plantada no mesmo ano, não demandou ou teve a melhor condição para demandar do nutriente, haja vista, que o mês de novembro corresponde a um mês de baixa precipitação pluviométrica, no final do período seco na região (Tabela 3) e conseqüente menor umidade no solo (Tabela 32).

#### **4.2.9 Fósforo Total**

A Tabela 28 e Figura 32 apresentam os resultados relacionados ao teor de fósforo total nos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

O teor de fósforo total no solo, considerando os sistemas de uso

avaliados, apresentou diferenças significativas somente na profundidade de 0 a 5 cm, onde o teor no solo cultivado com mombaça foi superior ao teor no solo da mata, enquanto que os teores de fósforo total nos solos cultivados com braquiária e com milho, apresentaram valores intermediários, porém, não foram significativamente diferentes quando comparados entre si e também não diferiram significativamente dos teores observados no solo cultivados com mombaça e no solo da mata.

**Tabela 28** - Teor de fósforo total ( $\mu\text{g/g}$ ) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.<sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	274,06 A a	294,72 A a	340,35 A a	365,95 A a	318,77 B
	Julho	303,88 A a	345,71 A a	417,48 A a	359,70 A a	356,69 AB
	Novembro	371,85 A a	363,59 A a	435,90 A a	362,54 A a	383,47 A
Média		316,60 b	334,67 ab	397,91 a	362,73 ab	352,98
CV (%) = 18,99		DMS1 = 73,72		DMS2 = 57,94 <sup>2</sup>		
5-10 cm	Abril	251,18 A a	310,86 A a	300,06 A a	278,12 A a	285,05 A
	Julho	281,19 A a	308,63 A a	363,51 A a	349,64 A a	325,74 A
	Novembro	334,38 A a	294,09 A a	364,91 A a	322,98 A a	329,09 A
Média		288,92 a	304,53 A	342,82 a	316,91 a	313,29
CV (%) = 26,89						
10-20 cm	Abril	251,28 A a	295,56 A a	298,73 A a	245,99 A a	272,89 A
	Julho	255,82 A a	258,87 A a	292,59 A a	327,06 A a	283,59 A
	Novembro	262,40 A a	215,96 A a	395,55 A a	273,94 A a	286,96 A
Média		256,50 a	256,80 A	328,96 a	282,33 a	281,15
CV (%) = 29,01						
20-30 cm	Abril	194,21 A a	184,75 A a	249,21 A a	229,93 A a	214,52 A
	Julho	189,58 A a	236,85 A a	255,44 A a	277,96 A a	239,96 A
	Novembro	296,83 A a	190,10 A a	264,39 A a	254,01 A a	251,33 A
Média		226,87 a	203,90 A	256,35 a	253,97 a	235,27
CV (%) = 31,28						
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		3,360*	0,877ns	2,097ns	1,366ns	
Época de Coleta (E)		3,764*	1,355ns	0,130ns	1,050ns	
SU x E		0,635ns	0,401ns	1,290ns	0,914ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\* (P<0,001).

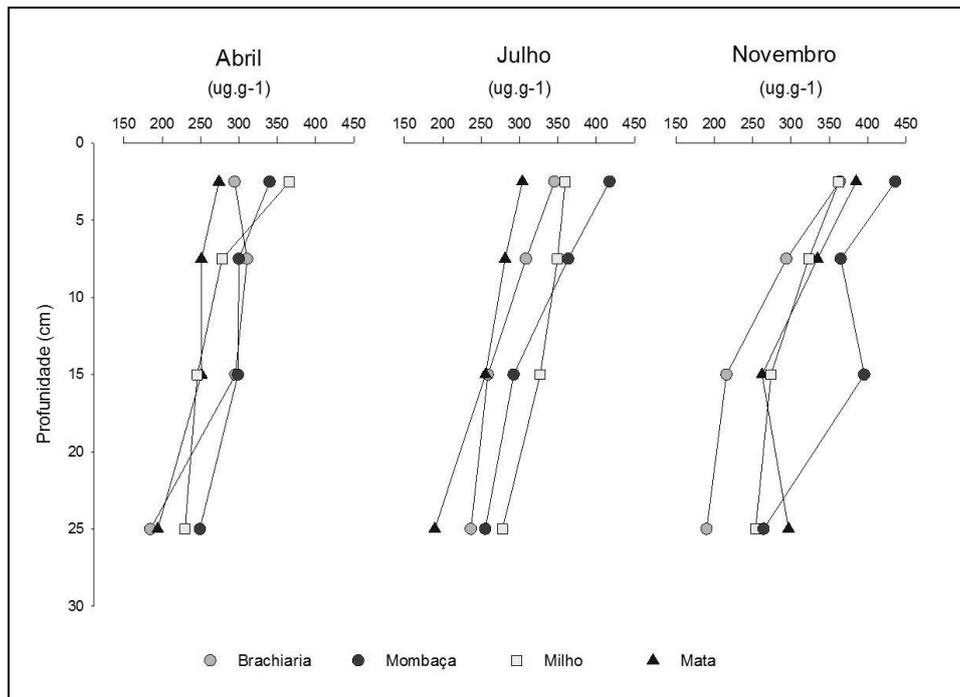
Relacionado ao fator época de coleta de solo, efeitos significativos também somente ocorreram na profundidade de 0 a 5 cm, onde o teor de fósforo total no solo no mês novembro registrou maior valor, superior

significativamente quando comparado ao teor observado em abril, com menor valor, enquanto o teor no mês de julho, apresentou valor intermediário, porém, não diferiu significativamente dos demais meses.

A interação entre os fatores sistema de uso do solo e época de coleta não apresentou efeitos significativos em todas as profundidades avaliadas.

Relacionado ao efeito nos sistemas de uso no teor de fósforo total no solo, onde nos solos cultivados com mombaça, com milho e com braquiária os maiores valores foram registrados, admite-se a possibilidade de influência das adubações fosfatadas decorrer da aplicação de fertilizantes minerais e conseqüentes fixações de fósforo. O fósforo solúvel adicionado ao solo pelas adubações, podem ser retido pela fração mineral ou absorvido pelas plantas e microrganismos, sendo que essas vias de retenção do fósforo solúvel, competem entre si, de modo que o fósforo solúvel pode ser retido quimicamente somando-se as frações insolúveis (NAHAS, 1991). Segundo Santos, Gatiboni e Kaminski (2008b), com a adição de fertilizantes fosfatados no solo, ocorre um acúmulo de fósforo em formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, embora a forma inorgânica seja predominante.

A baixa mobilidade do fósforo no solo com predomínio na camada superficial do solo (COSTA, 2007), pode ter influenciado para que os efeitos dos sistemas de uso do solo e épocas de coleta ocorressem somente na profundidade de 0 a 5 cm. Os resultados observados para o teor de fósforo total na profundidade de 0 a 5 cm em relação ao fator época, onde os maiores valores foram registrados nos meses de julho e novembro podem ser atribuídos as formas ligadas à matéria orgânica do solo, cujo teor, à mesma profundidade, apresentou maiores valores nos meses de julho e novembro (Tabela 5).



**Figura 32** - Teores de fósforo total em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Quanto aos valores dos teores de fósforo total observados no presente estudo, em geral, estão de acordo com os obtidos por Davidson et al. (2004) em estudo realizado em solo sob vegetação secundária antecedida por pastagem abandonada em Paragominas.

#### 4.2.10 – Fósforo Orgânico

A Tabela 29 e Figura 33 apresentam os resultados relacionados aos teores de fósforo orgânico no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Os sistemas de uso do solo não apresentaram diferenças significativas nas diferentes profundidades estudadas. Diferença significativa para o efeito de época de avaliação ocorreu apenas na profundidade de 0 a 5 cm, onde o maior e menor teor de fósforo orgânico, ocorreu em novembro e abril, respectivamente, enquanto que o teor no mês de julho não foi diferente significativamente quando comparado com os meses de abril e novembro.

Considerando as interações entre sistemas de uso dos solo e época, não ocorreram diferenças entre os teores de fósforo orgânico em todas as profundidades estudadas.

**Tabela 29** - Valores médios do teor de Fósforo orgânico ( $\mu\text{g/g}$ ) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008.<sup>1</sup>

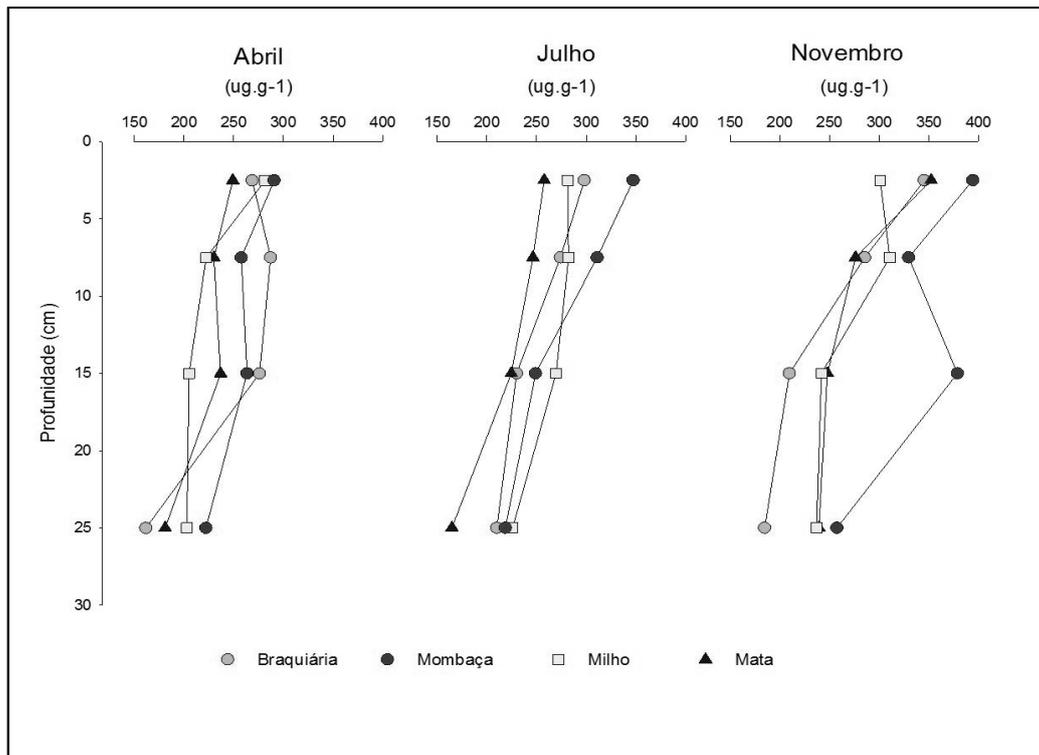
Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
0-5 cm	Abril	249,11 A a	268,69 A a	290,78 A a	281,77 A a	272,59 B
	Julho	257,78 A a	298,14 A a	347,36 A a	281,63 A a	296,23 AB
	Novembro	352,15 A a	345,52 A a	394,25 A a	300,85 A a	348,19 A
Média		286,35 a	304,12 a	344,13 a	288,08 a	305,67
CV (%) = 20,88		DMS1 = 55,17 <sup>2</sup>				
5-10 cm	Abril	230,01 A a	287,22 A a	257,56 A a	222,28 A a	249,26 A
	Julho	246,34 A a	274,02 A a	311,11 A a	282,27 A a	278,44 A
	Novembro	276,18 A a	285,47 A a	329,58 A a	310,56 A a	300,45 A
Média		250,84 a	282,24 a	299,41 a	271,70 a	276,05
CV (%) = 25,73						
10-20 cm	Abril	236,80 A a	275,99 A a	263,46 A a	205,06 A a	245,33 A
	Julho	224,57 A a	229,93 A a	249,10 A a	269,68 A a	243,32 A
	Novembro	247,84 A a	209,64 A a	378,70 A a	241,84 A a	269,50 A
Média		236,41 a	238,52 a	297,09 a	238,86 a	252,72
CV (%) = 32,75						
20-30 cm	Abril	181,02 A a	161,61 A a	222,04 A a	203,03 A a	191,93 A
	Julho	164,79 A a	209,99 A a	218,64 A a	225,82 A a	204,81 A
	Novembro	239,19 A a	184,67 A a	257,40 A a	236,88 A a	229,54 A
Média		195,00 a	185,42 a	232,69 a	221,91 a	208,76
CV (%) = 32,26						
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		2,126ns	0,982ns	1,535ns	1,305ns	
Época de Coleta (E)		5,878**	2,090ns	0,496ns	1,289ns	
SU x E		0,521ns	0,368ns	1,273ns	0,415ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> DMS1 relacionada ao fator época (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup> ns: não significativo; \*( $P < 0,05$ ), \*\*( $P < 0,01$ ), \*\*\*( $P < 0,001$ ).

Segundo Nahas (1991), duas são as condições de fósforo no solo, o fósforo solúvel e o fósforo insolúvel, nesta última, o solo apresenta duas frações que não são assimiláveis pelas plantas, uma orgânica e outra inorgânica, sendo que o conteúdo orgânico pode variar entre 30 a 85 % do total do fósforo. Por sua vez, Costa (2007) relata que o fósforo orgânico representa uma parte do fósforo total, variando entre 15 e 80% e como o fósforo orgânico depende do conteúdo de matéria orgânica, acrescenta o autor, suas quantidades tendem a ser elevadas nas camadas superficiais.



**Figura 33** - Teores de fósforo orgânico em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Relacionado aos sistemas de uso avaliados nas condições edafoclimáticas do presente estudo, os conteúdos de fósforo orgânico no solo variaram entre 80 a 90% do conteúdo de fósforo total. Em geral, esta proporção foi superior às observadas por Partelli et al. (2009), Guerra et al. (1996) e Núñez, Amaral Sobrinho e Manzur (2003), ressaltando que as diferenças podem ser atribuídas às condições diferenciadas relacionadas ao clima, ao solo e seu manejo inerentes a cada estudo. Por outro lado, Vieira (1966) avaliando a ocorrência e formas de fósforo nos solos amazônicos, compreendendo diferentes classes taxonômicas, observou, para o conteúdo de fósforo orgânico incluso no conteúdo de fósforo total, variação entre 12 a 85%.

Relacionado à proporção de fósforo orgânico e inorgânico no solo, a influência do grau de intemperização do solo tem sido determinante (GATIBONI, 2003). Solos mais intemperizados apresentam maior proporção de fósforo orgânico. Tiessen et al. (1994) apud Gatiboni (2003), observaram que em solos pouco desenvolvidos 86% do fósforo extraído por resinas trocadoras de ânions foi proveniente das frações inorgânicas, enquanto que em solos mais intemperizados 80% foi das frações orgânicas.

Na profundidade de 0 a 5 cm, para o fator época, os maiores valores do teor de fósforo orgânico no solo ocorreram em novembro e julho. Este resultado, provavelmente, foi associado aos maiores valores de matéria orgânica (Tabela 5), menores teores de biomassa microbiana (Tabela 20) e menor umidade do solo (Tabela 32), admitindo-se a possibilidade de que estas características do solo interrelacionadas, as quais também foram observadas nos respectivos meses, tenham condicionado a menor mineralização de fósforo (Tabela 7). Esta situação corrobora com o exposto por Santos, Gatiboni e Kaminski (2008), segundo os autores, a dinâmica do fósforo no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade de microrganismos, que liberam ou imobilizam íons ortofosfato, e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo.

#### **4.2.11 Esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)**

A Tabela 30 e Figura 34 apresentam os resultados relacionados a densidade de fungos micorrízicos nos solos, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Na avaliação do fator sistemas de uso do solo ocorreram diferenças significativas em todas as profundidades avaliadas. Entre 0 a 5 cm, as densidades de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nos solos cultivados com mombaça e com braquiária, que não diferiram entre si, foram superiores comparadas às densidades de esporos de fungos micorrízicos arbusculares observadas nos solos da mata e cultivado com milho, que também não diferiram entre si. Entre 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares não apresentou diferença significativa entre os solos cultivados com mombaça, com braquiária e com milho, os quais apresentaram densidade significativamente superior quando comparados a densidade observada no solo da mata. Na profundidade de 20 a 30 cm, diferença significativa foi observada entre a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo cultivado com mombaça, com maior valor, comparado ao solo da mata, com menor valor. Os solos cultivados com braquiária e milho, não diferiram entre si e também quando comparados aos outros dois sistemas avaliados.

**Tabela 30** - Densidade de esporos de fungos micorrízicos (unid./50 ml de solo) no solo, em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média			
0-5 cm	Abril	452,00 A a	1417,25 A a	1516,50 A a	750,25 A a	1034,00 A			
	Julho	244,25 A a	994,50 A a	1041,25 A a	554,75 A a	708,69 B			
	Novembro	334,75 A a	994,00 A a	1102,00 A a	749,25 A a	795,00 AB			
Média	343,67 b	1135,25 A	1219,92 a	684,75 b	845,90				
CV (%) = 36,80		DMS1 = 342,35		DMS2 = 269,08 <sup>2</sup>					
5-10 cm	Abril	286,50 A a	858,75 A a	794,75 A a	463,50 A a	600,88 A			
	Julho	96,00 A a	409,50 A a	489,00 A a	541,25 A a	383,94 B			
	Novembro	91,50 A a	410,50 A a	543,50 A a	521,75 A a	391,81 B			
Média	158,00 b	559,58 A	609,08 a	508,83 a	458,88				
CV (%) = 37,14		DMS1 = 187,45		DMS2 = 147,33 <sup>2</sup>					
10-20 cm	Abril	154,25 A c	436,00 A ab	541,75 A a	271,50 A bc	350,88 A			
	Julho	77,00 A b	390,25 AB a	304,75 B a	401,50 A a	293,38 AB			
	Novembro	59,00 A b	232,25 B ab	267,75 B ab	394,00 A a	238,25 B			
Média	96,75 b	352,83 A	371,42 a	355,67 a	294,17				
CV (%) = 37,46		DMS1 = 121,22		DMS2 = 95,27		DMS3 = 209,95		DMS4 = 190,55 <sup>2</sup>	
20-30 cm	Abril	211,25 A a	310,25 A a	467,50 A a	93,75 A a	270,69 A			
	Julho	53,50 A a	292,75 A a	394,00 A a	302,00 A a	260,56 A			
	Novembro	50,75 A a	147,25 A a	186,50 A a	242,25 A a	156,69 A			
Média	105,17 b	250,08 ab	349,33 a	212,67 ab	229,31				
CV (%) = 59,85		DMS1 = 150,97 <sup>2</sup>							
Valores de F <sup>3</sup>									
Fontes de Variação		Profundidades (cm)							
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30				
Sistema de Uso (SU)		20,719***	17,316***	17,180***	6,482**				
Época de Coleta (E)		4,690*	8,340**	4,178*	3,382ns				
SU x E		0,502ns	2,167ns	3,154*	2,354ns				

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

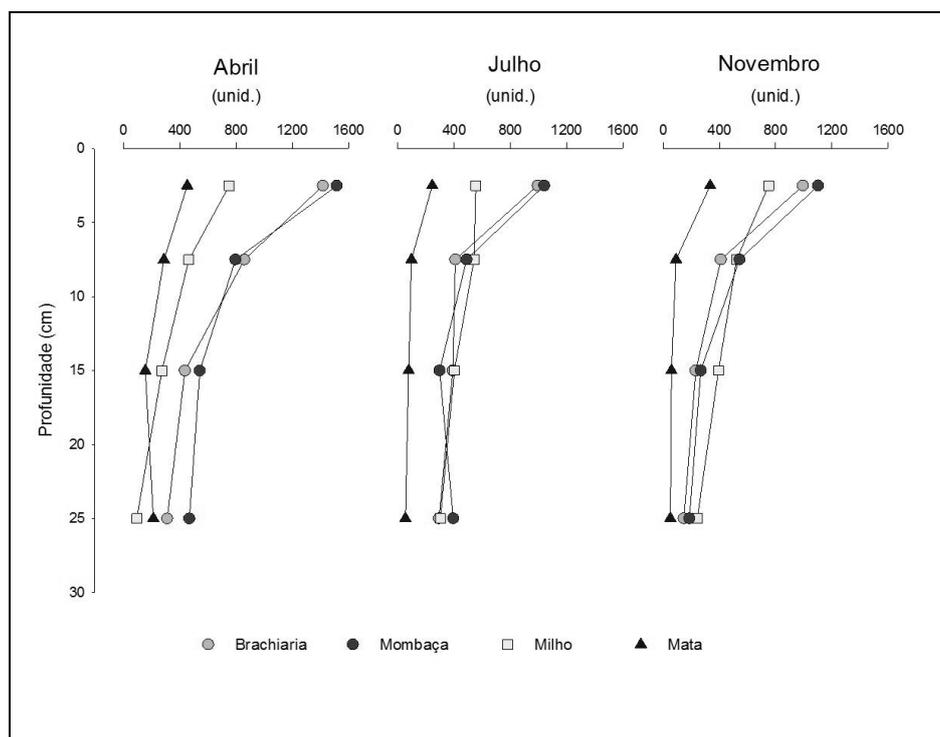
Relacionado ao fator época de coleta de solo, na profundidade de 0 a 5 cm, a maior densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo ocorreu no mês de abril quando comparado ao mês de julho, enquanto que o mês de novembro registrou uma densidade que não diferiu dos meses de abril e julho. De 5 a 10 cm, o mês de abril apresentou a maior densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo quando comparada às densidades observadas nos meses de julho e novembro, os quais não diferiram significativamente em seus valores de densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo. Entre 10 a 20 cm, a maior densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo ocorreu no mês de abril,

apresentando diferença significativa quando comparada à densidade observada no mês de novembro, enquanto que o mês de julho registrou uma densidade que não diferiu daquelas registradas nos meses de abril e novembro. Na profundidade de 20 a 30 cm, não ocorreram diferenças significativas entre a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo nos meses avaliados.

O efeito da interação sistemas de uso do solo e época de avaliação ocorreu somente na profundidade de 10 a 20 cm. No desdobramento de época em cada sistema de uso, diferenças significativas ocorreram apenas nos solos cultivados com braquiária e mombaça. No solo cultivado com braquiária a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares foi maior em abril quando comparada à densidade observada no mês de novembro, enquanto que a densidade no mês de julho não diferiu significativamente da densidade observada nos dois outros meses avaliados. No solo cultivado com mombaça a maior densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares ocorreu em abril, quando comparada aos meses de julho e novembro, os quais apresentaram valores para densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares que não diferiram entre si.

Considerando o efeito de sistemas de uso em cada época, na profundidade de 10 a 20 cm, em abril, os valores das densidades no diferentes sistemas apresentaram uma seqüência decrescente correspondendo aos solos cultivados com mombaça, com braquiária, com milho e solo da mata. Diferenças significativas ocorreram entre a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo cultivado com mombaça comparada às densidades no solo cultivado com milho e no solo da mata e entre o solo cultivado com braquiária comparado ao solo da mata. Em julho, diferenças significativas foram observadas, com os solos cultivados com milho, com braquiária e com mombaça, sem diferenças significativas comparados entre si, apresentando as maiores densidades de esporos de fungos micorrízicos arbusculares comparadas à densidade observada no solo da mata. No mês de novembro, diferença significativa na densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares ocorreu entre o solo cultivado com milho, com a maior densidade, comparado com o solo da mata, sendo que as densidades observadas nos solos cultivados com braquiária e com mombaça não diferiram

significativamente entre si e também quando comparadas as densidades observadas nos solos da mata e cultivado com milho.



**Figura 34** - Densidade (unid./50 ml de solo) de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

Os fungos micorrízicos associam-se simbioticamente às raízes das plantas e formam micorrizas, sendo essas associações importantes na absorção de nutrientes do solo, especialmente em solos com baixo nível de fósforo assimilável (CHU; DIEKMANN, 2002). Segundo os mesmos autores, os fungos micorrízicos do tipo arbuscular, são os mais importantes para a agricultura pela ocorrência generalizada em quase todos os tipos de solo e capacidade de associação com quase todas as plantas cultivadas. Os fungos micorrízicos arbusculares, portanto, são de grande importância nos agroecossistemas e são influenciados pelas práticas de manejo do solo que podem reduzir a incidência de espécies (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO; OLIVEIRA, 1989). A avaliação da população de fungos micorrízicos arbusculares têm sido proposta com uma das medidas no monitoramento da qualidade do solo (BATISTA et al., 2008). Neste contexto, as diferenças na densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares observadas entre os sistemas de uso do solo avaliados no presente estudo, confirmam a

sensibilidade deste parâmetro como indicador de alterações no solo causadas por sistemas de manejos diferenciados.

No presente estudo, os resultados indicam que a maior densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares ocorreram principalmente nos solos das pastagens e também no solo cultivado com milho quando estes sistemas são comparados aos resultados obtidos no solo da mata. Esta situação pode estar relacionada aos resultados obtidos por Cordeiro et al. (2005). Estes autores avaliando a colonização e a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em solos sob diferentes sistemas de manejo, observaram que as áreas sob cultivo de gramíneas como o milho, a braquiária e o sorgo, apresentaram colonização micorrízica superior às áreas sob o cultivo de soja, observaram também o aumento na densidade de esporos nas áreas agrícolas em relação as áreas de cerrado nativo usadas como referência. Os resultados do presente estudo também corroboram resultado de pesquisa realizada em Rondônia, onde solos sob pastagens apresentaram maior população média de esporos de micorrizas arbusculares comparados a solos sob floresta, capoeira melhorada com leguminosas, mandioca e feijão (COSTA et al. (1999), apud SILVA et al., 2006).

Relacionado ao efeito de época na densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, Chu e Dieckmann (2002) avaliando o uso alternativo do solo sob a população de fungos micorrízicos arbusculares na Amazônia, concluíram que, a maior densidade de esporos ocorre nos primeiros 5 cm do solo e identificaram também efeito da sazonalidade na densidade de esporos, refletidos pela menor densidade de esporos na época chuvosa quando a umidade do solo é elevada. Em outro estudo, Bonfim et al. (2007), avaliando a densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em cafeeiros sombreados e a pleno sol, observaram que, a densidade de esporos foi afetada pelo sistema de manejo e pela época do ano, sendo que a maior densidade de esporos ocorreram nos cafezais arborizados e também uma maior densidade de esporos foi observada na época seca.

O resultado do presente estudo, onde a maior densidade de esporos ocorreu no mês de abril, período chuvoso na região de Paragominas (Tabela 3), divergiu dos resultados obtidos nos trabalhos de Chu e Dieckmann (2002) e Bonfim et al. (2007), os quais indicaram o período de seca como período de

maior densidade de esporos. Ressaltando-se as condições diferenciadas entre os ambientes dos trabalhos citados.

Silva et al. (2006), embora sem diferença significativa, conforme esclarecem, relatam que áreas de mandioca, capoeira e florestas apresentaram na estação chuvosa maiores valores nas densidades de esporos de fungos micorrízicos arbusculares quando comparadas com a estação seca. As maiores densidades de fungos micorrízicos arbusculares em época chuvosa não tem sido observada na literatura, uma vez que os esporos são estruturas de resistência e a sua existência no sistema costuma ser reduzida no período chuvoso, quando outras estruturas como hifas são mais abundantes (CAPRONI (2000), apud SILVA et al., 2006)

Por outro lado, Mergulhão et al. (2007) em estudo em áreas impactadas por exploração mineral na Bahia, observaram maior produção de esporos de fungos micorrízicos arbusculares na estação chuvosa. Resultados semelhantes em Porto Trombetas, no Pará, em áreas recuperadas após mineração, foram observados por Caproni et al. (2005) com a espécie micorrízica *G. macrocarpum*, a qual apresentou maior esporulação no período chuvoso, revelando, segundo os autores, boa adaptação para produzir altas densidades de esporos em condições do trópico úmido. Estudos em diferentes ecossistemas demonstraram que os fungos micorrízicos arbusculares podem exibir certo grau de especificidade ecológica (MCGONIGLE; FITTER (1990), apud CAPRONI et al., 2005) e que as espécies variam quanto a adaptação às condições de umidade do solo (MEHROTRA (1998), apud CAPRONI et al., 2005).

Nas condições do presente estudo, a maior densidade de esporos fungos micorrízicos arbusculares na época seca, pode estar relacionada ao exposto por Caproni et al., (2005), admitindo-se a possibilidade de que nas condições em que os sistemas foram avaliadas, prevaleceu espécies com maior adaptabilidade as condições de maior umidade do solo.

#### **4.2.12 Matéria Seca de Liteira**

A Tabela 31 apresenta os resultados relacionados à matéria seca de liteira no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas e

interações.

Na avaliação do fator sistema de uso do solo diferenças significativas foram registradas, sendo que a maior quantidade de matéria seca de liteira ocorreu na mata comparada às quantidades observadas nos sistemas cultivados com milho, com braquiária e com mombaça, os quais não apresentaram diferenças significativas comparados entre si.

**Tabela 31** - Matéria seca de liteira (g/ 0,25 m<sup>2</sup>) sob o solo para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solos e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
Abril	214,19 A a	71,31 A bc	108,12 A b	0,00 C c	98,40 B
Julho	294,52 A a	77,21 A b	45,51 A b	222,65 A a	159,97 A
Novembro	247,93 A a	84,86 A b	54,97 A b	114,26 B b	125,50 AB
Médias	252,21 a	77,80 b	69,53 b	112,30 B	127,96
CV (%) = 40,44	DMS1 = 56,92		DMS2 = 44,73	DMS3 = 98,58	DMS4 = 89,47 <sup>2</sup>
Fontes de Variação		Valores de F <sup>3</sup>			
Sistema de Uso (SU)		32,287***			
Época de Coleta (E)		5,689**			
SU x E		5,676***			

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso. (A ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Diferenças significativas na quantidade de matéria seca de liteira foram observadas entre as épocas de coleta, sendo mais evidente entre os meses de abril e julho, com menor e maior quantidade de matéria seca de liteira, respectivamente. A quantidade de matéria seca de liteira no mês de novembro apresentou valor intermediário sem, entretanto, diferir significativamente da quantidade observada nos dois outros meses avaliados.

O efeito da interação entre sistemas de uso do solo e épocas de coleta apresentou diferenças significativas. No desdobramento da interação de época dentro de cada sistema de uso, apenas no cultivo de milho foi observada diferença significativa sendo que a maior quantidade de matéria seca de liteira ocorreu no mês de julho tendo na seqüência a quantidade de matéria seca de liteira observada no mês de novembro, enquanto que no mês de abril, por ocasião da coleta, não foi observada a formação de liteira conforme

comprovam as figuras 35, 36, 37 e 38, que apresentam a seqüência de situações ocorridas na área onde foi estabelecido o plantio de milho.

No desdobramento da interação entre sistemas de uso em cada época, diferenças significativas foram observadas em todos os meses. No mês de abril, a maior quantidade de matéria seca de liteira ocorreu na mata comparadas aos demais sistemas avaliados. A quantidade de matéria seca de liteira observada nos sistemas com mombaça e braquiária não apresentaram diferenças significativas. Em julho as maiores quantidades de matéria seca de liteira ocorreram na mata e no cultivo de milho, sem diferenças significativas entre estes sistemas. As menores quantidades de matéria seca de liteira foram observadas nos sistemas com braquiária e com mombaça, os quais não diferiram significativamente comparados entre si. No mês de novembro a mata apresentou a maior quantidade de matéria seca de liteira, enquanto que os sistemas com milho, com braquiária e com mombaça apresentaram os menores quantidades, os quais não diferiram significativamente entre si.

Em relação as diferenças obtidas entre os sistemas de uso para matéria seca de liteira, o fato da mata, um ecossistema natural, apresentar maior valor, era um resultado esperado por tratar-se de um sistema mais preservado. Por outro lado, pelos resultados obtidos com maiores valores para quantidade de matéria seca de liteira no sistema com milho, comparado com os valores observados nas pastagens, admite-se a possibilidade deste sistema com milho, permanecendo integrado à pecuária e com plantio direto a partir do segundo ano, conforme previsto, vir a ser, em condição de solo cultivado, um sistema com melhor contribuição para qualidade do solo. Segundo Luizão (2007), para manter o ecossistema do solo em funcionamento nas zonas tropicais com solos pobres, garantindo o processo de reciclagem de nutrientes, qualquer sistema manejado deve otimizar a biota do solo e para tal, seria indispensável, entre outros princípios, manter o solo coberto com uma capa orgânica reciclável.

O menor valor obtido no mês de abril para a quantidade de matéria seca de liteira, em parte, pode ser atribuído à contribuição da inexistência de liteira no plantio do milho. Esta situação se justifica pelo fato do sistema integrado de lavoura-pecuária estar em fase de implantação e, conseqüentemente, neste primeiro ano, do preparo do solo para plantio do milho (Figura 37) ter sido feito de modo convencional, com uso de grades pesadas, as quais incorporaram a

biomassa vegetal (Figura 35 e 36), e grades niveladoras, ao que se soma as altas temperaturas e umidade no período que provocaram melhor condição para decomposição da liteira favorecendo, portanto, sua inexistência na época da coleta no mês de abril (Figura 38).

Por outro lado, a expectativa do efeito da sazonalidade, no sentido de menores quantidades de matéria seca de liteira na estação seca, era esperado em decorrência da condição climática da região (Tabela 3), com a estação seca se configurando no período de julho a novembro. Segundo Luizão (2007), os padrões de precipitação pluviométrica regional influenciam na produção de liteira, uma vez que existe um forte controle sazonal na produção de liteira fina e na espessura da camada de liteira sobre o solo, definida pela maior produção e maior espessura na estação seca. Na estação chuvosa, segundo o mesmo autor, com a umidade mais favorável, a decomposição por ação de microrganismos é favorecida.

Considerando o valor obtido como média da quantidade de matéria seca de liteira na mata, o sistema apresentou uma quantidade de 10,09 Mg.ha<sup>-1</sup>. Este valor insere-se na amplitude de valores apresentados por Silva (2009) para estoques de serapilheira em diferentes ecossistemas de floresta primária e floresta sucessional na Amazônia e outras regiões tropicais. Segundo Luizão (2007), a produção anual de liteira fina em florestas primárias na Amazônia situa-se na faixa de 7 a 10 Mg.ha<sup>-1</sup>, podendo variar em função da fenologia das espécies arbóreas e, principalmente, pelo padrão de precipitação pluviométrica, face ao efeito de sazonalidade conforme exposto anteriormente.



**Figura 35** - Área pós-colheita de arroz em junho de 2007. Fazenda Vitória – Paragominas – Pará.



**Figura 36** - Palhada remanescente de plantio de arroz em julho de 2007. Fazenda Vitória-Paragominas-Pará.



**Figura 37** - Plantio de milho em abril de 2008. Fazenda Vitória – Paragominas – Pará.



**Figura 38** - Plantio de milho em abril de 2008. Detalhe de ausência de liteira. Fazenda Vitória – Paragominas – Pará.

### 4.3 UMIDADE DO SOLO

A Tabela 32 e a Figura 39 apresentam os resultados relacionados aos teores de umidade no solo, avaliados no presente trabalho, nos sistemas de uso, épocas e interações.

**Tabela 32** - Teores de umidade do solo (%), em diferentes profundidades, para os sistemas de uso, para as épocas de coleta de solo e interações entre sistemas de uso e épocas, e valores de F e respectivos níveis de significância. Paragominas - PA, 2008. <sup>1</sup>

Profundidades	Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Médias
0-5 cm	Abril	50,09 A a	39,63 A b	36,31 A bc	33,69 A c	39,93 A
	Julho	24,87 B a	16,93 C b	17,57 B b	17,88 B b	19,31 C
	Novembro	24,84 B a	23,41 B ab	20,03 B bc	18,86 B c	21,79 B
Total		33,27 a	26,66 b	24,64 bc	23,48 C	27,01
CV (%) = 7,50		DMS1 = 2,23		DMS2 = 1,75	DMS3 = 3,86	DMS4 = 3,50 <sup>2</sup>
5-10 cm	Abril	45,48 A a	37,08 A b	33,76 A c	35,67 A BC	38,00 A
	Julho	23,70 B a	18,46 C b	18,54 B b	20,26 B b	20,24 B
	Novembro	23,94 B a	22,36 B a	19,72 B b	18,51 B b	21,13 B
Total		31,04 a	25,97 b	24,00 c	24,81 BC	26,46
CV (%) = 4,71		DMS1 = 1,37		DMS2 = 1,08	DMS3 = 2,37	DMS4 = 2,15 <sup>2</sup>
10-20 cm	Abril	38,07 A a	34,56 A a	33,80 A a	34,51 A a	35,24 A
	Julho	22,91 A a	19,40 A a	19,42 A a	20,71 A a	20,61 B
	Novembro	23,66 A a	22,30 A a	19,93 A a	18,79 A a	21,17 B
Total		28,21 a	25,42 b	24,38 b	24,67 b	25,67
CV (%) = 6,23		DMS1 = 1,76		DMS2 = 1,38 <sup>2</sup>		
20-30 cm	Abril	36,68 A a	32,49 A a	34,20 A a	33,04 A a	34,11 A
	Julho	22,25 A a	20,45 A a	20,51 A a	21,90 A a	21,28 B
	Novembro	23,16 A a	22,06 A a	19,79 A a	19,21 A a	21,05 B
Total		27,36 a	25,00 b	24,83 b	24,72 b	25,48
CV (%) = 7,15		DMS1 = 2,00		DMS2 = 1,57 <sup>2</sup>		
Valores de F <sup>3</sup>						
Fontes de Variação		Profundidades (cm)				
		0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	
Sistema de Uso (SU)		55,915***	77,236***	14,334***	5,751**	
Época de Coleta (E)		493,731***	1032,332***	429,048***	269,240***	
SU x E		7,866***	11,474***	1,658ns	1,830ns	

<sup>1</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>DMS1 relacionada ao fator sistema de uso; DMS2 relacionada ao fator época; DMS3 relacionada ao desdobramento do fator sistema de uso dentro de época; DMS4 relacionada ao desdobramento do fator época dentro de sistema de uso (a ausência de DMS indica que não ocorreu efeito significativo entre os fatores ou na interação entre eles).

<sup>3</sup>ns: não significativo; \*(P<0,05), \*\*(P<0,01), \*\*\*(P<0,001).

Considerando o fator sistema de uso do solo, diferenças significativas foram observadas em todas as profundidades avaliadas. Entre 0 a 5 cm, o teor de umidade no solo da mata foi superior quando comparado aos demais

sistemas de uso avaliados. O teor de umidade do solo observado no solo cultivado com braquiária foi superior ao teor observado no solo cultivado com milho, entretanto, não apresentou diferença significativa quando comparado ao teor de umidade observado no solo cultivado com mombaça. Ainda na profundidade de 0 a 5 cm, o teor de umidade nos solos cultivados com mombaça e com milho não diferiram significativamente entre si.

Na profundidade de 5 a 10 cm, o teor de umidade no solo da mata foi significativamente superior quando comparado aos demais sistemas de uso avaliados. O teor de umidade observado no solo cultivado com braquiária foi superior ao teor observado no solo cultivado com mombaça, entretanto, não apresentou diferença significativa quando comparado ao teor de umidade observado no solo cultivado com milho, que, por sua vez, não diferiu significativamente comparado ao teor de umidade no solo cultivado com mombaça.

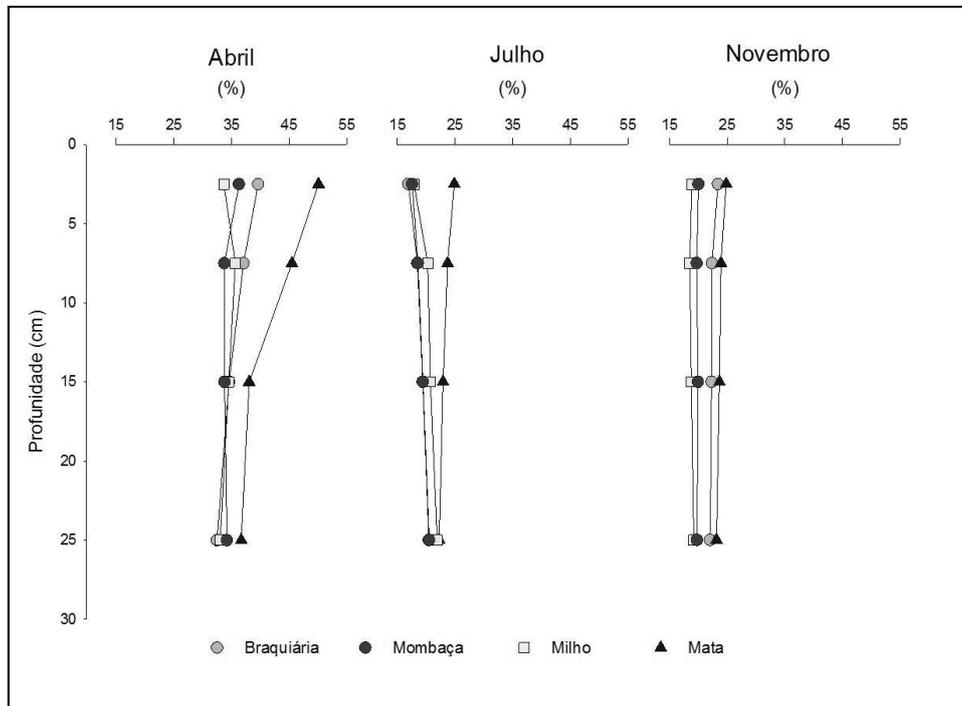
Os teores de umidade no solo da mata também foram significativamente superiores comparados aos demais sistemas avaliados nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, sendo que os teores observados nos solos cultivados com braquiária, com mombaça e com milho não diferiram quando comparados entre si.

O efeito de época de coleta de solo foi observado no presente estudo em todas as profundidades avaliadas. Entre 0 a 5 cm, o maior teor de umidade no solo ocorreu no mês de abril. Na seqüência, em ordem decrescente, estão os teores de umidade do solo observados nos meses de novembro e julho. Nas profundidades de 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, o efeito da época sobre o teor de umidade do solo foram semelhantes, onde o maior teor foi observado em abril, enquanto que os menores teores foram nos meses de julho e novembro, os quais não diferiram quando comparados entre si.

Nas interações sistemas de uso do solo e épocas de coleta correram diferenças significativas nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm. Nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, as diferenças não foram significativas.

No desdobramento da interação de época em cada sistema de uso, o efeito das épocas tanto na profundidade de 0 a 5 cm como na profundidade de 5 a 10 cm, os resultados foram semelhantes em cada sistema de uso. Nos

solos da mata, cultivado com mombaça e cultivado com milho, os maiores teores de umidade ocorreram em abril, enquanto que em julho e novembro foram observados os menores teores, os quais não diferiram significativamente comparados entre si. No solo cultivado com braquiária, os teores de umidade foram significativamente diferentes, apresentando uma seqüência decrescente no sentido dos meses de abril, novembro e julho.



**Figura 39** - Teores de umidade em diferentes sistemas de uso do solo e em diferentes épocas de coleta de solo.

No desdobramento das interações de sistema de uso dentre de cada época, entre 0 a 5 cm, no mês de abril, o teor de umidade no solo da mata foi superior quando comparado aos demais sistemas de uso avaliados. O teor de umidade observado no solo cultivado com braquiária foi superior ao teor observado no solo cultivado com milho, entretanto, não apresentou diferença significativa quando comparado ao teor de umidade observado no solo cultivado com mombaça, que, por sua vez, não diferiu significativamente comparado ao solo cultivado com milho. Em julho, os teores de umidade no solo da mata foram significativamente superiores, comparados aos demais sistemas avaliados nas profundidades, sendo que os teores observados nos solos cultivados com braquiária, com mombaça e com milho não diferiram

quando comparados entre si. No mês de novembro não apresentaram diferenças significativas comparados entre si os teores de umidade os solos da mata e cultivado com braquiária, os solos cultivados com braquiária e com mombaça e os solos cultivados com mombaça e com milho. Por outro lado, diferenças significativas foram observadas entre os teores de umidade do solo da mata, com maior teor, comparado aos teores nos solos cultivados com mombaça e com milho, também entre o teor de umidade no solo cultivado com braquiária comparado ao teor no solo cultivado com milho.

Na profundidade de 5 a 10 cm, no mês de abril, o teor de umidade no solo da mata foi significativamente superior quando comparado aos demais sistemas de uso avaliados. O teor de umidade observado no solo cultivado com braquiária foi superior ao teor observado no solo cultivado com mombaça, entretanto, não apresentou diferença significativa quando comparado ao teor de umidade observado no solo cultivado com milho, que, por sua vez, não diferiu significativamente comparado ao teor de umidade no solo cultivado com mombaça. Em julho, os teores de umidade no solo da mata foram significativamente superiores comparados aos demais sistemas avaliados nas profundidades, sendo que os teores observados nos solos cultivados com braquiária, com mombaça e com milho não diferiram quando comparados entre si. Ainda na profundidade de 5 a 10 cm, em novembro, os teores de umidade do solo observados nos solos da mata e cultivado com braquiária não diferiram significativamente comparados entre si, entretanto, foram superiores aos teores de umidade observados nos solos cultivados com mombaça e com milho, os quais também não diferiram comparados entre si.

O clima da região de Paragominas é do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, com período seco definido de julho a novembro (RODRIGUES et al., 2003a). Dessa maneira, as diferenças observados para o teor de umidade do solo relacionadas ao fator época de coleta de solo podem ser atribuídos ao regime pluviométrico da região. Resultado que pode estar relacionado ao obtido por Souza et al. (2010b). Estes autores, em estudo envolvendo avaliações da temperatura e umidade do solo na região leste da Amazônia, em período de transição entre época de estiagem e época chuvosa, observaram a sensibilidade de solos sob floresta e pastagem no sentido da alteração de suas umidades em eventos de chuva nos locais. No pasto, ocorreu uma mudança

brusca no sentido do aumento da umidade do solo com o início da estação chuvosa, enquanto na floresta não houve grande mudança. Acrescentam os autores, que o efeito da precipitação pluviométrica na variação da umidade do solo, no caso da floresta, é atenuado e retardado pela cobertura vegetal.

A diferença observada no teor de umidade entre os sistemas de uso avaliados, podem ser atribuídas as diferenças na caracterização da cobertura vegetal de cada sistema avaliado. Souza et al. (2010a), estudando a umidade do solo sob floresta e pastagem na Amazônia, observaram que independentemente dos períodos, se chuvoso ou de estiagem, o conteúdo de água no solo da floresta foi muito maior do que na pastagem, de modo que, na condição do estudo, o maior valor de umidade registrado no solo da pastagem no período chuvoso não superou o menor valor registrado na floresta no período seco.

A área de mata possui um antecedente de reflorestamento natural com, aproximadamente, trinta anos. A pastagem de braquiária possui um tempo superior a dez anos. A área da pastagem com mombaça trata-se de um sistema de integração lavoura-pecuária, com plantio de arroz no primeiro ano e milho consorciado com mombaça no segundo ano, tendo, na seqüência, quatro anos de pasto solteiro, com o sistema totalizando seis anos. A área cultivada com milho trata-se da formação de um outro sistema de integração lavoura-pecuária, o qual foi antecedido por um cultivo de arroz, um ano de pousio, outro cultivo de arroz, seguido pelo cultivo da cultura de milho, cujo solo está sendo estudado, com o preparo do solo feito de forma convencional e o plantio do milho realizado em conjunto com a espécie de capim *Brachiaria ruziziensis*, com objetivo de formação de pastagem após mais um ano de plantio simultâneo com milho, em sistema de plantio direto. Portanto, as condições de cada sistema apresentou uma seqüência de uso do solo diferenciada associada às coberturas vegetais presentes, com reflexos na conservação da umidade do solo.

Em conformidade com os resultados apresentados neste estudo quanto ao efeito da estação e cobertura vegetal na umidade do solo, estão os resultados obtidos por Vasconcelos et al. (2005). Esses autores, estudando solos sob vegetação secundária de diferentes idades, observaram efeitos da estação climática sobre a umidade do solo, com maior teor na estação chuvosa

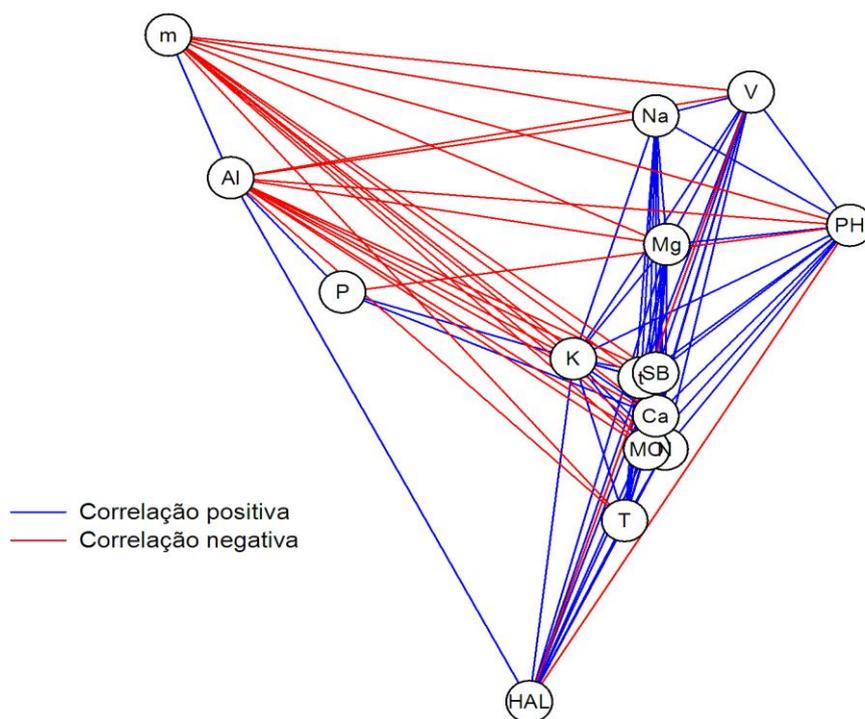
e também observaram que a vegetação secundária com maior idade (14 anos), apresentou teor de umidade superior comparada as outras áreas durante as estações seca e chuvosa, refletindo, segundo os autores, o efeito da cobertura vegetal na manutenção da umidade do solo.

## **5 ANÁLISE MULTIVARIADA**

### **5.1 ESTRUTURA DE ASSOCIAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO**

Foi observada uma estrutura de correlação entre as variáveis, polarizada em um grande número de associações negativas entre o teor alumínio (Al), percentagem de saturação de alumínio (m) e o restante das variáveis: pH, percentagem de saturação de bases da capacidade de troca de cátions a pH 7 (V), teor de cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), teor de matéria orgânica (MO), teor de nitrogênio (N), sódio (Na), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), a exceção do teor de fósforo (P). Outras relações negativas observadas associaram pH com acidez potencial (H+Al) e fósforo e a associação entre percentagem de saturação de bases da capacidade de troca de cátions a pH 7 e acidez potencial (Figura 40; Tabela 33).

O outro pólo apresentou uma agregação entre associações positivas onde as variáveis: teor de cálcio, capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva), teor de potássio, magnésio, nitrogênio, soma de bases, teor de matéria orgânica, sódio, capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC a pH 7), percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7, acidez potencial e pH, apresentaram associações significativas entre si. Entretanto, no caso do teor de cálcio e CTC efetiva, foi assinalada também associação positiva com o teor de fósforo. O teor de alumínio e a percentagem de saturação da alumínio também apresentaram associação positiva (Figura 40; Tabela 33).



**Figura 40** - Estrutura de correlação entre as variáveis químicas do solo, classificados segundo a análise multidimensional (*multidimensional scaling*, MDS), com base na correlação de Spearman.

O teor de sódio e a percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 apresentaram correlações positivas e significativas com o pólo com agregação de associações positivas, a exceção da acidez potencial, enquanto que a CTC a pH 7 apresentou correlações positivas e significativas com o mesmo pólo agregação positiva a exceção do pH. Já o teor de alumínio apresentou associações positivas exclusivamente com a acidez potencial, o teor de fósforo e o teor de matéria orgânica (Figura 40; Tabela 33).

A percentagem de saturação de bases da capacidade de troca de cátions a pH 7, representa o percentual das cargas negativas, passíveis de troca na elevação do pH a 7, do complexo coloidal do solo, que estão ocupados por bases, ou seja, por cálcio, magnésio, potássio e, eventualmente, sódio, em comparação com o ocupado por hidrogênio e alumínio (LOPES; GUIDOLIN, 1989; RAIJ, 1991). Na composição da percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7, portanto, existe a necessidade de conhecimento do teor no solo de cada uma das bases para definição da soma de bases (SB), e também da capacidade de troca de cátions a pH 7 ou CTC a pH 7, a qual

corresponde a soma de hidrogênio mais o alumínio com as bases (LOPES; GUIDOLIN, 1989; RAIJ, 1991).

Diante do exposto, em decorrência dessa relação entre estas características do solo, as associações positivas entre cada uma das bases com a soma de bases, CTC efetiva, CTC a pH 7, percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 e pH, observadas no presente estudo, são justificadas. Estudos envolvendo algumas dessas características do solo corroboram estes resultados. Ferreira et al. (2001) observaram associação positiva entre pH e teor de magnésio no solo. Enquanto que Silva, Centurion e Mellis (2004), registraram associações positivas entre pH, CTC efetiva, percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7, teores de cálcio, magnésio, e de matéria orgânica no solo.

Em outra análise sobre CTC do solo, a CTC efetiva, refere-se a capacidade do solo de reter as bases (ou cátions) em condição de pH natural (LOPES; GUIDOLIN, 1989; RAIJ, 1991). Dessa maneira, na definição da CTC efetiva estão inclusos os valores de cátions trocáveis do solo, isto é, teores de cálcio, magnésio, potássio e, eventualmente, sódio, além dos teores de alumínio. Considerando estas relações, os resultados do presente estudo são justificados, pelo fato de que associações positivas entre CTC efetiva, soma de bases e teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio também foram observadas.

A associação positiva entre o teor de nitrogênio e o teor de matéria orgânica, observada no presente estudo, é amparada pelo exposto por Cantarella (2007). Segundo esse autor, grande estoque do nitrogênio no solo ocorre na forma orgânica, como parte da matéria orgânica do solo, cuja dimensão dessa importância é bem estabelecida no contexto da fertilidade do solo. Segundo Luizão, Costa e Luizão (1999), o nitrogênio é um dos principais nutrientes que limitam a produtividade dos sistemas agrícola e agrossilviculturais introduzidos após a derrubada da floresta natural e, à parte o nitrogênio da fixação biológica, a maioria do nitrogênio utilizado pelas plantas em ecossistemas de solos pobres deriva da decomposição da matéria orgânica. Neste contexto, maiores teores de matéria orgânica no solo podem admitir maiores teores de nitrogênio, justificando a relação positiva entre essas variáveis observadas neste estudo.

Relacionado às associações positivas do teor da matéria orgânica no solo observadas no presente estudo, admite-se que este resultado pode ser decorrente da funcionalidade da matéria orgânica no solo. Segundo Mielniczuk (2008), a matéria orgânica ou carbono orgânico total são considerados como indicador chave da qualidade do solo, devido não somente a sensibilidade em seu teor decorrente de alterações provocadas pelo manejo do solo, mas também, por apresentar forte relação com a maioria dos atributos importantes do solo, como a melhoria na estabilidade dos agregados e estrutura do solo, infiltração e retenção de água, resistência a erosão, atividade biológica, CTC efetiva, disponibilidade de nutrientes para as plantas, entre outros. Moreira e Costa (2004), em estudo realizado na floresta do Rio Urucu no Amazonas, concluíram que naquelas condições edafoclimáticas a fertilidade do solo está associada ao conteúdo de matéria orgânica.

Estudos apresentando a relação da matéria orgânica com outras características do solo em sistemas de produção agropecuários são relatados corroborando os resultados deste estudo. Jantalia et al. (2006), avaliando a influência de pastagens e sistemas de produção de grãos no estoque de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho, observaram que pastagens com gramíneas e leguminosas, fertilizadas com fósforo e potássio e com percentagem de saturação de bases do solo de 50%, apresentaram maior acúmulo de carbono e nitrogênio comparadas com lavouras em plantio convencional. Enquanto que Zatorre et al. (2009), avaliando a influência das modificações da cobertura vegetal em propriedades de solos do Acre, observaram correlações positivas entre a CTC do solo e o estoque de carbono com os teores de fósforo e nitrogênio do solo. Longo e Espíndola (2000), em solo sob floresta da região amazônica, atribuíram os altos valores da CTC observados nos horizontes superficiais do solo ao conteúdo de matéria orgânica existentes nestes horizontes.

Em estudo avaliando a qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas, Jakelaitis et al. (2008), observaram maiores valores de H+Al, CTC a pH 7, soma de bases e percentagem de saturação por bases nas áreas de mata e de pastagem estabelecida após cultivo de soja, atribuindo a estes resultados a maior contribuição da matéria orgânica, além das adubações no sistema cultivado.

A associação positiva observada no presente estudo entre CTC efetiva e teor de matéria orgânica também foi observada em estudo realizado por ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, (2007), em que foram avaliadas a qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. Segundo esses autores, a correlação positiva entre CTC efetiva e teor de matéria orgânica do solo são esperadas, já que em solos tropicais, com o predomínio de argilas de baixa atividade, a fração orgânica contribui com a maior proporção das cargas negativas dos colóides do solo no estabelecimento da CTC.

Pereira, Veloso e Gama (2000), estudando as propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com pastagens de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*, durante dois anos, observaram um acréscimo no pH no segundo ano. Os autores creditaram esse resultado ao aumento da CTC como reflexo do aumento de cátions decorrente da mineralização da matéria orgânica, esclarecendo que, como consequência da elevação da CTC e dos teores de cátions trocáveis, verificou-se aumento da saturação de bases, causando a elevação do pH e consequente diminuição no alumínio trocável.

A relação exposta no estudo de Pereira, Veloso e Gama (2000), referente ao pH e teor de alumínio, podem estar relacionadas com as associações negativas observadas no presente estudo referentes ao teor de alumínio no solo e percentagem de saturação de alumínio, cujos valores foram menores em situações onde registraram-se maiores valores no pH, nos teores no solo de cálcio, magnésio, potássio e sódio, na soma de bases, CTC efetiva, CTC a pH 7 e na percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7.

As correlações positivas entre CTC efetiva e soma de bases observadas neste estudo são decorrentes de uma possível derivação entre as duas variáveis, uma vez que na CTC efetiva são contabilizados, em condição de pH natural do solo, os teores de cada uma das bases e de alumínio e hidrogênio. A relação exposta no estudo de Pereira, Veloso e Gama (2000), referente a elevação da CTC e dos teores de cátions trocáveis, com consequente aumento da saturação de bases e os resultados obtidos por Zatorre et al. (2009), que verificaram em correlações positivas entre CTC e soma de bases, confirmam os resultados deste estudo.

A associação negativa entre pH do solo e acidez potencial e a associação positiva entre teor de alumínio no solo e acidez potencial

observadas no presente estudo, decorrem das inter-relações que comumente acontecem entre essas variáveis no solo (LOPES; GUIDOLIN, 1989). O teor de alumínio no solo compõe com o hidrogênio em ligação covalente (não trocável), com frações orgânicas e inorgânicas do solo, e hidrogênio trocável, a acidez potencial e com a diminuição do pH do solo, ocorre aumento nos teores de alumínio trocável (LOPES; GUIDOLIN, 1989; CARBALLO, 2004; MALAVOLTA, 2006). Estas relações que envolvem acidez potencial e alumínio justificam também a associação positiva entre estas variáveis no presente estudo. Gama-Rodrigues et al. (2008), estudando atributos químicos do solo sob diferentes coberturas vegetais, observaram que o solo sob eucalipto, comparado com leguminosas, apresentou pH inferior, apresentando, correspondentemente, conforme esclarecem os autores, maior teor de alumínio e acidez potencial.

No estudo de Gama-Rodrigues et al. (2008), foi observado ainda, tendo como referência um solo sob capoeira, que ocorreu nas demais coberturas sob solos manejados, significativo aumento da fertilidade dos solos, proporcionado, principalmente, pela redução da acidez potencial e elevação da soma de bases. Este resultado, considerado a influência do teor de alumínio no solo na composição da acidez potencial (LOPES; GUIDOLIN, 1989; RAIJ, 1991), remete a uma possível relação entre teor de alumínio e soma de bases, justificando a associação negativa entre estas variáveis observadas no presente estudo.

O pH do solo é uma variável importante no sentido da disponibilidade de fósforo no solo, sendo que em condições de acidez, pH baixo, há a formação de fosfatos de ferro e alumínio, menos disponíveis, e com pH alto, o excesso de cálcio leva à formação de fosfatos de cálcio, menos disponíveis também (MALAVOLTA, 2006). Correa e Reichardt (1995), avaliando o efeito do tempo de uso das pastagens em um latossolo amarelo na Amazônia central, observaram que, com o decorrer dos anos, há uma associação negativa entre o teor de alumínio com o teor de fósforo no solo, cujo valor decresce, enquanto o teor de alumínio aumenta, enquanto que observaram pequena oscilação no pH, que passou de 4,9 a 4,7, permanecendo com 4,6 nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, em pastagens de 4 e 10 anos, respectivamente.

No presente estudo, a relação positiva entre o pH do solo e o teor de

fósforo não foi observada, registrando-se uma associação negativa entre essas variáveis. Por outro lado, as formas precipitadas de fósforo, que são menos disponíveis, entre as quais strengtita, variscita, fluorapatita, hidroxiapatita, fosfato dicálcico dihidratado e fosfato octacálcico podem manter os íons fosfatos na solução do solo na faixa de pH entre 5 e 7 (GATIBONI, 2003). Em adição, os conceitos de labilidade definem um equilíbrio nas proporções entre os nutrientes na condição lábil e na solução do solo (MALAVOLTA, 2006). Diante do exposto e considerando que os valores de pH observados no presente estudo variaram entre de 4,91 e 5,73, admite-se a possibilidade de que nesta faixa de pH, nas condições deste estudo, a disponibilidade de fósforo no solo não tenha tido interferência do pH, de que uma queda de pH dentro da faixa supracitada, observada neste estudo, não tenha provocado queda da disponibilidade fósforo, pelo contrário, inclusive, admitindo-se também que o pH não tenha interferido na relação entre teor de alumínio e de fósforo, haja visto que neste estudo apresentou associação positiva.

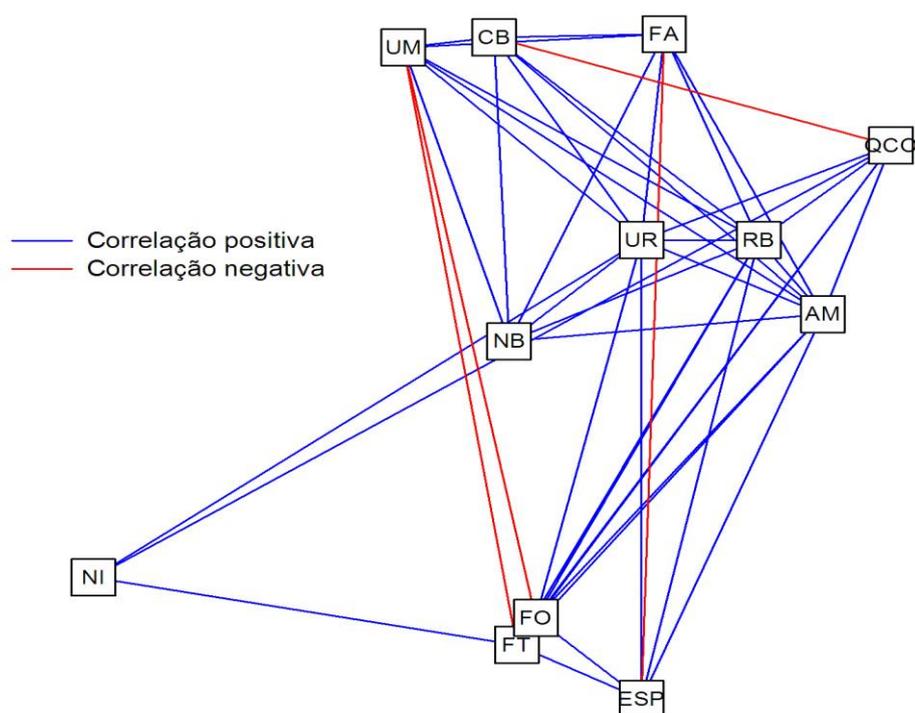
## 5.2 ESTRUTURA DE ASSOCIAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOQUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

A estrutura de correlações significativas entre as variáveis bioquímicas e biológicas foi notadamente positiva. Sendo que o teor de umidade no solo (UMI) foi a única variável que apresentou mais do que uma correlação negativa sendo estas associadas aos teores de fósforo orgânico (FO) e fósforo total (FT). As outras associações, sejam estas teor de carbono da biomassa microbiana (CB) e quociente respiratório (QCO<sub>2</sub>); atividade da fosfatase ácida (FAC) e quantidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (ESP) deram-se somente na magnitude de um par (Figura 41; Tabela 33).

A polarização positiva teve nas variáveis teor de amônio (AMO), respiração basal (RBA) e atividade da urease (URE) um papel central, assinalando associação positiva com todas as variáveis, a exceção do teor de nitrato (NIT), a qual apresentou correlação significativa somente com o indicador atividade da urease deste grupo central (Figura 41; Tabela 33).

Uma nucleação intermediária foi observada com as variáveis teor de carbono da biomassa microbiana, atividade da fosfatase ácida e teor de

umidade do solo, os quais apresentaram associações entre si e com nitrogênio da biomassa microbiana (NB). Uma outra nucleação intermediária foi observada em teores de fósforo orgânico, fósforo total e quantidade de esporos de micorrizas, os quais apresentaram associação entre si e com quociente respiratório. Enquanto que o teor de nitrato apresentou associação direta somente com o fósforo total e nitrogênio da biomassa microbiana (Figura 41; Tabela 33).



**Figura 41** - Estrutura de correlação entre as variáveis bioquímicas e biológicas do solo, classificadas segundo a análise multidimensional (*multidimensional scalling*, MDS), com base na correlação de Spearman.

As fosfatases catalisam a hidrólise de compostos fosfatados orgânicos com a produção de fósforo solúveis (NAHAS, 2002). Os microrganismos seriam as fontes mais expressivas de fosfatases no solo, devido sua grande biomassa, alta atividade metabólica e curto tempo de vida, com várias gerações em curto espaço de tempo, permitindo a produção e liberação de quantidades elevadas de enzimas extracelulares em comparação com plantas que também produzem esta enzima (DICK; TABATABAI (1993), apud CARNEIRO et al., 2004). Conte, Anghinoni e Rheinheimer (2002), em estudo sobre fósforo da biomassa microbiana e atividade da fosfatase ácida, observaram correlação positiva entre

fosfatase ácida e fósforo orgânico, explicando ainda que a atividade desta enzima é mais influenciada pelo teor de fósforo orgânico do que pelo teor de fósforo total no solo. Em adição, dentre os fatores que afetam a atividade enzimática no solo destacam-se a concentração do substrato, o nível de umidade, temperatura e pH do solo (LONGO; MELO, 2005).

Diante do contexto apresentado, embasado no exposto em Nahas (2002), Dick e Tabatabai (1993) apud Carneiro et al. (2004), Conte, Anghinoni e Rheinheimer (2002) e Longo & Melo (2005), que constrói uma possível relação entre a ação das fosfatases, umidade do solo e teor de fósforo orgânico, as associações negativas observadas no presente estudo entre os teores de fósforo orgânico e total com a umidade do solo pode ter sido decorrente da melhoria da atividade de microrganismos no solo e da ação da fosfatase decorrente do aumento da umidade do solo, cujo processo pode ter definido maior mineralização, disponibilidade e absorção de fósforo pelos vegetais com conseqüente redução no teor de fósforo orgânico e total no solo. Dessa maneira, a relação apresentada também pode explicar a relação positiva entre fosfatase ácida e umidade do solo também registrada neste estudo.

A associação negativa observada neste estudo entre carbono da biomassa microbiana e quociente respiratório, pode estar relacionado ao exposto por De-Polli e Pimentel (2005), Araújo e Monteiro (2007), Balota et al. (1998) e Vasconcelos et al. (2005). O quociente respiratório ou quociente metabólico é a razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana do solo e o tempo, indicando a eficiência da biomassa microbiana em fazer uso do carbono disponível para biossíntese (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Balota et al. (1998) constataram uma relação inversa entre biomassa microbiana do solo e quociente respiratório, sugerindo, que sob maiores teores de carbono possa ocorrer aumento da biomassa microbiana e redução da atividade metabólica. Em estudo realizado por Vasconcelos et al. (2005) foi registrada uma relação negativa entre carbono da biomassa e quociente respiratório, sugerindo, segundo os autores, que quanto mais eficiente a biomassa microbiana, menos carbono é perdido e maior proporção de carbono é incorporado ao tecido microbiano.

No presente estudo, o teor de carbono da biomassa microbiana apresentou correlação positiva com a respiração basal, resultado que foi

semelhante ao obtido por Luizão, Costa e Luizão (1999), em estudo comparativo entre áreas, próximas a Manaus, de floresta original, recém-queimada e de pastagem jovem com solo fertilizado. Mercante et al. (2004), estudando parâmetros microbiológicos em solos sob sistemas integrados de produção agropecuária, também encontraram maiores valores de respiração basal em área de mata, usada como referência. Os mesmos autores explicaram que valores mais elevados de respiração basal implicam em maior atividade biológica, que estão diretamente relacionadas com a disponibilidade de carbono do solo e/ou da biomassa microbiana.

A associação positiva observada neste estudo entre atividade da fosfatase ácida e teor de carbono da biomassa microbiana, confirmam os resultados observados por Frakenberg e Dick (1983) apud Araújo e Monteiro (2007), que registraram relações significativas entre as enzimas fosfatase, amidase e catalase com a respiração e biomassa microbiana, e por Balota et al. (2004), que investigando a atividade de enzimas, entre as quais as fosfatases, identificaram significantes correlações entre a atividade das enzimas com o carbono da biomassa microbiana, além do nitrogênio da biomassa microbiana.

Duas são as condições de fósforo no solo, o fósforo solúvel e o fósforo insolúvel, nesta última, o solo apresenta duas frações que não são assimiláveis pelas plantas, uma orgânica e outra inorgânica, sendo que o conteúdo orgânico pode variar entre 30 a 85 % do total do fósforo (NAHAS, 1991). Em solos amazônicos, Vieira (1966), avaliando a ocorrência e formas de fósforo, compreendendo diferentes classes taxonômicas, observou para o conteúdo de fósforo orgânico incluso no conteúdo de fósforo total variação entre 12 a 85%. Considerando que o fósforo orgânico no solo compõem o conteúdo de fósforo total e que nas condições do presente estudo os conteúdos de fósforo orgânico no solo corresponderam entre 80 a 90% do conteúdo de fósforo total, as relações positivas observadas são justificadas.

Jakelaitis et al (2008), em estudo avaliando a qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas, verificaram maiores valores do carbono da biomassa microbiana em solos da mata e de pastagem estabelecida após cultivo de soja. Segundo os autores, estes resultados foram influenciadas pelo maior aporte de material orgânico e pela maior capacidade

de retenção de água no solo registradas no dois sistemas. Esta relação, observada por Jakelaitis et al (2008), entre teor de carbono da biomassa microbiana e capacidade de retenção de água no solo, identificada pela umidade do solo, está em conformidade com resultado do presente estudo em que ocorreu relação positiva entre estas duas variáveis.

A urease é produzida pelas plantas, microrganismos e alguns membros da fauna, sendo encontrada em quase todos os solos; hidrolisa rapidamente a uréia com liberação de gás carbônico e amônia ( $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_3$ , respectivamente). A amônia é, em solos aerados, imediatamente oxidada a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) tendo no intermédio dessa oxidação o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Diante do exposto, a relação entre a atividade da urease na hidrólise da uréia tendo, como produtos subseqüentes ao processo, a formação do amônio e de nitrato, demonstra uma relação entre estas variáveis, possibilitando admitir a relação positiva observada neste estudo entre atividade da urease e teor de nitrato no solo e, adicionalmente, explica a associação entre a maior atividade da urease com o maior teor de amônio também registrada. A correlação positiva entre os teores de amônio e de nitrato com o teor nitrogênio da biomassa microbiana sugere a imobilização de nitrogênio pela biomassa microbiana do solo (VARGAS; SELBACH; SÁ, 2005).

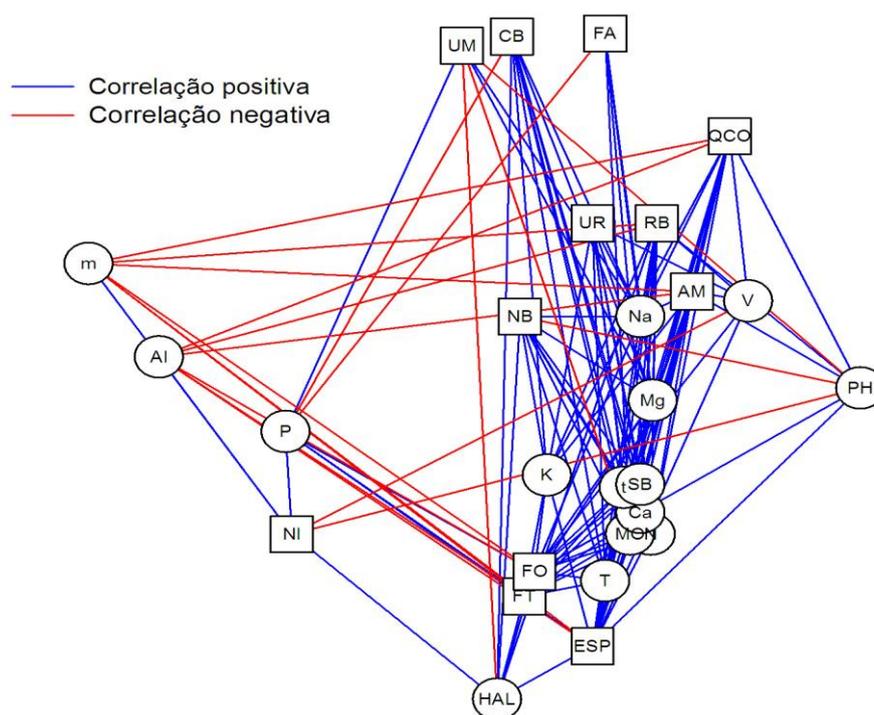
### 5.3 INTEGRAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS QUÍMICAS, BIOQUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

#### 5.3.1 Estrutura de associação entre as variáveis

Uma polarização negativa, teve em AI, m um maior número de variáveis bioquímicas e biológicas assinaladas: AMO, ESP, FO, FT, QCO2, RBA. O pH apresentou correlações significativas de natureza negativa com UMI, NIT, NB. Enquanto que o P apresentou estas correlações com CB, FAC. Já a MO e H+AI apresentaram correlações significativas e negativas somente com UMI (Figura 42; Tabela 33).

Já uma forte polarização foi assinalada entre ESP e FO com todas as variáveis químicas, apresentando correlação significativa positiva, a exceção de AI, m. Já RBA, AMO apresentaram correlação positiva com todas as

variáveis a exceção de Al, m, P. O NB, CB apresentou associação positiva com todas as variáveis a exceção de Al, m, P, V, pH. Enquanto que URE apresentou associação positiva com todos, a exceção de Al, m, P, pH, H+Al, Ca (Figura 42; Tabela 33).



**Figura 42** - Estrutura de correlação entre as variáveis químicas, bioquímicas e biológicas do solo, classificadas segundo a análise multidimensional (*multidimensional scaling*, MDS), com base na correlação de Spearman.

O FAC, NIT e UMI apresentou um menor número de correlações positivas, sendo que FAC apresentou associação significativa com Mg, Na, MO, N. O NIT associação com Al, m, H+Al, P. Já o UMI apresentou associação somente com Mg, Na, P (Figura 42; Tabela 33).

O FT e QCO2 apresentaram associações positivas com Mg, Na, MO, N, K, SB, t, T, Ca, sendo que no caso de FT também foram assinaladas associações com H+Al, P; enquanto que no caso de QCO2 foram assinaladas associações entre pH, V. Apresentaram associação positiva CB cm MO (Figura 42; Tabela 33).

Na Amazônia ocidental, estudando a dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana no solo sob diferentes manejos, Moreira e Malavolta

(2004) observaram, em uma sucessão floresta primária-pastagem-cupuaçu, uma redução significativa da matéria orgânica e do carbono da biomassa microbiana do solo. A relação entre a matéria orgânica e a biomassa microbiana do solo também foi registrada por Moreira e Costa (2004), através de estudo relacionado a dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica resultantes de ações antrópicas para prospecção de petróleo e gás natural. Nestas áreas, a partir do quarto ano de reflorestamento, foram observados aumento da matéria orgânica e também da biomassa microbiana no solo.

Os resultados obtidos por Moreira e Malavolta (2004) e Moreira e Costa (2004) admitem, portanto, uma possibilidade de associação positiva entre os teores de matéria orgânica e de carbono da biomassa microbiana no solo, situação confirmada neste estudo em que a relação positiva entre estas variáveis foram registradas. Em adição, a biomassa microbiana do solo é definida como componente vivo da matéria orgânica do solo, formada por organismos vivos com volume menor de  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$  (JENKINSON; LADD, 1981; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Dessa maneira, o fato da biomassa microbiana compor a matéria orgânica do solo permite a possibilidade de relações positivas entre estas variáveis. Mercante et al. (2004), estudando parâmetros biológicos sob sistemas de produção integrados, observaram correlações positivas, não somente entre matéria orgânica do solo e carbono da biomassa microbiana, como também entre matéria orgânica do solo e respiração basal, cuja correlação também foi observada neste estudo.

Araújo, Goedert e Lacerda (2007), avaliando a qualidade de um solo sob diferentes usos, observaram que, apesar da atividade da biota do solo ser limitada pela quantidade de substrato carbonado, não ocorreu correlação entre carbono da biomassa microbiana e respiração basal, porém, ocorreu entre respiração basal e matéria orgânica do solo, demonstrando, segundo os autores, que, independentemente dos teores de carbono da biomassa microbiana, existe estreita relação entre matéria orgânica e a atividade de microrganismos do solo.

A correlação positiva entre teor de matéria orgânica do solo e o teor de nitrogênio da biomassa microbiana observada neste estudo, pode estar relacionada aos resultados obtidos por Vargas e Scholles (1998), que também

identificaram esta relação ao comparar sistemas de cultivo com maior aporte de matéria orgânica com sistema de menor aporte.

A respiração basal apresentou correlação positiva, praticamente, com todas as variáveis químicas, exceto teores de alumínio e fósforo no solo e percentagem de saturação de alumínio. Este resultado pode estar relacionado ao obtido por Luizão, Costa e Luizão (1999), que identificou maior atividade microbiana na camada superficial do solo, argumentando que o resultado confirma o fato de que a maior atividade microbiana na camada superficial do solo está associada a maior fonte/reservatório de nutrientes. Por outro lado, maiores valores da respiração basal também são decorrentes da maior atividade biológica do solo, tanto pelo maior teor de matéria orgânica como pela resposta à maior adição de resíduos orgânicos ou restos culturais (COSTA; GOEDERT; SOUZA, 2006), sendo que nestas situações, pelos processos de decomposição e mineralização, nutrientes podem ser liberados ao solo. Dessa maneira, no presente estudo, a correlação positiva identificada, sugere que os maiores valores para a respiração basal estejam associados aos maiores teores de nitrogênio, cálcio, magnésio, potássio e demais características químicas derivadas.

Estudos realizados por Chaer (2001) e Santos et al. (2009), apresentaram correlações positivas entre as atividades das fosfatases com o teor de carbono orgânico do solo e expuseram também que essas enzimas tem sua atividade aumentada em ambientes preservados em relação a ambientes de cultivo. Por outro lado, Mendes e Reis Junior (2004), avaliando impactos de sistemas de plantio direto e plantio convencional nas propriedades microbiológicas e bioquímicas do solo, observaram que os maiores níveis de atividade da fosfatase ácida foram nas áreas nativas usadas como referências. No presente estudo, de modo geral, os maiores valores para a atividade da fosfatase ácida ocorreram no solo da mata, que também apresentou um dos maiores teores de matéria orgânica. Estes resultados, portanto, podem estar relacionados aos observados por Chaer (2001), Santos et al. (2009) e Mendes e Reis Junior (2004) e justificam também a associação positiva entre as variáveis teor de matéria orgânica e atividade da fosfatase ácida, observada neste estudo.

Em estudos realizados por Zatorre et al. (2009), sobre a influência de

modificações da cobertura vegetal em propriedades de solos do Acre, registraram-se correlações positivas entre CTC efetiva com carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente respiratório. Resultados que corroboram com o observado no presente estudo onde estas relações também foram verificadas.

**Tabela 33 - Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis indicadores da dinâmica da fertilidade e de atividades bioquímicas no solo.**

	[01]	[02]	[03]	[05]	[06]	[07]	[08]	[09]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]	[26]	[27]	[28]
PH	[01]	0.14	0.23	-0.21	0.32	0.38	0.43	0.24	-0.86	-0.37	0.33	-0.76	0.43	0.04	0.70	-0.18	0.39	-0.41	-0.01	-0.17	0.04	-0.05	0.18	0.11	0.18	0.39	0.15
N	[02]	0.14	0.79	-0.08	0.52	0.44	0.72	0.70	-0.28	0.61	0.78	-0.52	0.75	0.86	0.24	-0.06	0.39	0.10	0.28	0.40	0.22	0.24	0.57	0.54	0.49	0.41	0.27
MO	[03]	0.23	0.79	-0.13	0.59	0.51	0.68	0.61	-0.30	0.52	0.73	-0.51	0.72	0.78	0.28	-0.16	0.37	0.08	0.24	0.29	0.16	0.23	0.48	0.53	0.49	0.46	0.20
P	[05]	-0.21	-0.08	-0.13	0.12	0.02	0.15	0.00	0.16	0.04	0.14	0.08	0.12	0.07	0.04	0.29	0.07	0.36	-0.21	0.13	-0.21	0.13	-0.09	0.17	0.15	0.36	0.06
K	[06]	0.32	0.52	0.59	0.12	0.74	0.54	0.43	-0.31	0.26	0.59	-0.46	0.59	0.52	0.35	-0.12	0.43	0.12	0.15	0.23	0.04	0.25	0.34	0.46	0.45	0.67	0.18
Na	[07]	0.38	0.44	0.51	0.02	0.74	0.47	0.63	-0.37	0.01	0.57	-0.51	0.57	0.37	0.55	0.19	0.67	0.11	0.26	0.35	0.42	0.51	0.60	0.23	0.31	0.45	0.32
Ca	[08]	0.43	0.72	0.68	0.15	0.54	0.47	0.68	-0.58	0.36	0.96	-0.81	0.98	0.82	0.63	-0.02	0.46	-0.05	0.12	0.23	-0.01	0.12	0.44	0.48	0.44	0.58	0.28
Mg	[09]	0.24	0.70	0.61	0.00	0.43	0.63	0.68	-0.40	0.24	0.81	-0.63	0.79	0.65	0.58	0.19	0.60	0.13	0.29	0.39	0.39	0.35	0.66	0.33	0.35	0.30	0.34
Al	[10]	-0.86	-0.28	-0.30	0.16	-0.31	-0.37	-0.58	-0.40	0.27	-0.48	0.93	-0.59	-0.19	-0.80	0.12	-0.49	0.34	-0.03	0.07	-0.02	0.04	-0.24	-0.15	-0.21	-0.37	-0.20
HAL	[11]	-0.37	0.61	0.52	0.04	0.26	0.01	0.36	0.24	0.27	0.41	0.05	0.33	0.79	-0.42	-0.16	-0.09	0.16	0.24	0.26	-0.03	-0.02	0.16	0.41	0.26	0.24	-0.07
t	[12]	0.33	0.78	0.73	0.14	0.59	0.57	0.96	0.81	-0.48	0.41	-0.74	0.99	0.86	0.60	0.05	0.51	0.06	0.19	0.33	0.12	0.23	0.55	0.50	0.46	0.56	0.32
m	[13]	-0.76	-0.52	-0.51	0.08	-0.46	-0.51	-0.81	-0.63	0.93	0.05	-0.74	-0.82	-0.48	-0.83	0.06	-0.57	0.23	-0.11	-0.08	-0.07	-0.08	-0.41	-0.30	-0.33	-0.48	-0.29
SB	[14]	0.43	0.75	0.72	0.12	0.59	0.57	0.98	0.79	-0.59	0.33	0.99	-0.82	0.81	0.68	0.02	0.54	0.00	0.16	0.28	0.09	0.19	0.53	0.48	0.46	0.57	0.33
T	[15]	0.04	0.86	0.78	0.07	0.52	0.37	0.82	0.65	-0.19	0.79	0.86	-0.48	0.81	0.17	-0.06	0.28	0.10	0.26	0.32	0.06	0.14	0.45	0.54	0.45	0.49	0.18
V	[16]	0.70	0.24	0.28	0.04	0.35	0.55	0.63	0.58	-0.80	-0.42	0.60	-0.83	0.68	0.17	0.13	0.59	-0.16	0.00	0.09	0.13	0.17	0.40	0.12	0.22	0.34	0.36
UMI	[17]	-0.18	-0.06	-0.16	0.29	-0.12	0.19	-0.02	0.19	0.12	-0.16	0.05	0.06	0.02	-0.06	0.13	0.34	0.01	0.34	0.27	0.56	0.43	0.18	-0.23	-0.19	-0.06	-0.13
AMO	[18]	0.39	0.39	0.37	0.07	0.43	0.67	0.46	0.60	-0.49	-0.09	0.51	-0.57	0.54	0.28	0.59	0.34	-0.08	0.25	0.29	0.51	0.47	0.59	0.23	0.34	0.36	0.31
NIT	[19]	-0.41	0.10	0.08	0.36	0.12	0.11	-0.05	0.13	0.34	0.16	0.06	0.23	0.00	0.10	0.01	-0.08	-0.10	0.10	-0.02	0.16	0.11	0.15	0.13	-0.01	0.21	
CB	[20]	-0.01	0.28	0.24	-0.21	0.15	0.26	0.12	0.29	-0.03	0.24	0.19	-0.11	0.16	0.26	0.34	0.25	-0.10	0.35	0.42	0.28	0.30	-0.05	-0.08	0.11	-0.50	
NB	[21]	-0.17	0.40	0.29	0.13	0.23	0.35	0.23	0.39	0.07	0.26	0.33	-0.08	0.28	0.32	0.27	0.29	0.10	0.35	0.35	0.36	0.36	0.12	0.11	0.08	0.06	
FAC	[22]	0.04	0.22	0.16	-0.21	0.04	0.42	-0.01	0.39	-0.02	-0.03	0.12	-0.07	0.09	0.06	0.56	0.51	-0.02	0.42	0.35	0.56	0.52	-0.11	-0.01	-0.14	0.11	
URE	[23]	-0.05	0.24	0.23	0.13	0.25	0.51	0.12	0.35	0.04	-0.02	0.23	-0.08	0.19	0.14	0.43	0.47	0.16	0.28	0.36	0.56	0.51	0.11	0.21	0.19	0.20	
RBA	[24]	0.18	0.57	0.48	-0.09	0.34	0.60	0.44	0.66	-0.24	0.16	0.55	-0.41	0.53	0.45	0.18	0.59	0.11	0.30	0.36	0.52	0.51	0.26	0.32	0.20	0.62	
FT	[25]	0.11	0.54	0.53	0.17	0.46	0.23	0.48	0.33	-0.15	0.41	0.50	-0.30	0.48	0.54	-0.23	0.23	0.15	-0.05	0.12	-0.11	0.11	0.26	0.95	0.49	0.25	
FO	[26]	0.18	0.49	0.49	0.15	0.45	0.31	0.44	0.35	-0.21	0.26	0.46	-0.33	0.46	0.45	-0.19	0.34	0.13	-0.08	0.11	-0.01	0.21	0.32	0.95	0.45	0.34	
ESP	[27]	0.39	0.41	0.46	0.36	0.67	0.45	0.58	0.30	-0.37	0.24	0.56	-0.48	0.57	0.49	-0.06	0.36	-0.01	0.11	0.08	-0.14	0.19	0.20	0.49	0.45	0.06	
QCO	[28]	0.15	0.27	0.20	0.06	0.18	0.32	0.28	0.34	-0.20	-0.07	0.32	-0.29	0.33	0.18	-0.13	0.31	0.21	-0.50	0.06	0.11	0.20	0.62	0.25	0.34	0.06	

### 5.3.2 Ordenação das variáveis químicas, bioquímicas e biológicas do solo

Foi reduzida de 06 componentes principais, representando cerca de 81% da variação total dos dados. O Componente Principal I (CP I), captou cerca de 36% da variação total. Sendo que as variáveis (i.a) com auto-vetores significativos e orientação positiva foram representados por: teor de alumínio (Al), percentagem de saturação de alumínio (m); já as variáveis (i.b) com auto-vetores significativos e orientação negativa foram representados por: variáveis químicas – teor de cálcio (Ca), acidez potencial (HAl), teor de potássio (K), teor de magnésio (Mg), teor de matéria orgânica (MO), teor de nitrogênio (N), teor de sódio (Na), pH, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC a pH 7 (T), percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 (V); variáveis bioquímicas – teor de amônio (AMO), quantidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (ESP), atividade da fosfatase ácida (FAC), teor de fósforo orgânico (FO), teor de fósforo total (FT), teor de nitrogênio da biomassa microbiana (NB), quociente respiratório (QCO<sub>2</sub>), respiração basal (RBA), atividade da urease (URE). (Tabela 34).

O Componente Principal II (CP II), captou cerca de 14% da variação total. Sendo que as variáveis (i.a) com auto-vetores significativos e orientação positiva foram representados por: pH; V, já as variáveis (i.b) com auto-vetores significativos e orientação negativa foram representados por: variáveis químicas – teor de nitrogênio (N); Al; HAl; m; T; variáveis bioquímicas – umidade do solo (UMI); teor de nitrato (NIT); teor de carbono da biomassa microbiana (CB); NB; FAC; URE; RBA. (Tabela 34).

O Componente Principal III (CP III), captou cerca de 11% da variação total. Sendo que as variáveis (i.a) com auto-vetores significativos e orientação positiva foram representados por: variáveis químicas - N; MO; HAl; T; variáveis bioquímicas – FT; FO; já as variáveis (i.b) com auto-vetores significativos e orientação negativa foram representados por: variáveis químicas – pH; Na; V; variáveis bioquímicas – UMI; AMO; CB; NB; FAC; URE (Tabela 34).

O Componente Principal IV (CP IV), captou cerca de 7% da variação total. Sendo que as variáveis (i.a) com auto-vetores significativos e orientação positiva foram representados por: variáveis químicas – Ca; Mg; HAl; T; variáveis bioquímicas – CB; já as variáveis (i.b) com auto-vetores significativos e

orientação negativa foram representados por: variáveis químicas – teor de fósforo (P); K; Na; variáveis bioquímicas – NIT; URE; FT; FO; ESP; QCO2 (Tabela 34).

O Componente Principal V (CP V), captou cerca de 7% da variação total. Sendo que as variáveis (i.a) com auto-vetores significativos e orientação positiva foram representados por: FAC; RBA; QCO2; já as variáveis (i.b) com auto-vetores significativos e orientação negativa foram representados por: variáveis químicas – P; K; variáveis bioquímicas – UMI; CB; ESP (Tabela 34).

O Componente Principal VI (CP VI), captou cerca de 6% da variação total. Sendo que as variáveis (i.a) com auto-vetores significativos e orientação positiva foram representados por: variáveis químicas – P; Ca; t; V variáveis bioquímicas – UMI; NIT; QCO2; já as variáveis (i.b) com auto-vetores significativos e orientação negativa foram representados por: variáveis químicas – MO; K; Na; variáveis bioquímicas – CB; ESP (Tabela 34).

**Tabela 34 - Autovalores e autovetores obtidos na análise fatorial<sup>1</sup>**

	CP I	CP II	CP III	CP IV	CP V	CP VI
PH	<b>-0.45</b>	<b>0.74</b>	<b>-0.27</b>	0.02	0.01	-0.19
N	<b>-0.83</b>	<b>-0.24</b>	<b>0.26</b>	0.19	0.10	-0.10
MO	<b>-0.81</b>	-0.11	<b>0.28</b>	0.10	0.03	<b>-0.23</b>
P	-0.07	-0.09	0.07	<b>-0.46</b>	<b>-0.57</b>	<b>0.54</b>
K	<b>-0.62</b>	0.02	-0.01	<b>-0.33</b>	<b>-0.22</b>	<b>-0.34</b>
Na	<b>-0.63</b>	-0.04	<b>-0.34</b>	<b>-0.32</b>	0.10	<b>-0.29</b>
Ca	<b>-0.89</b>	0.17	0.14	<b>0.22</b>	-0.11	<b>0.22</b>
MG	<b>-0.84</b>	-0.16	-0.06	<b>0.20</b>	0.19	0.19
Al	<b>0.53</b>	<b>-0.74</b>	0.19	-0.09	0.10	-0.05
Hal	<b>-0.28</b>	<b>-0.51</b>	<b>0.65</b>	<b>0.27</b>	-0.18	-0.14
T	<b>-0.93</b>	-0.03	0.12	0.19	-0.03	<b>0.20</b>
M	<b>0.61</b>	<b>-0.64</b>	0.12	-0.11	0.15	-0.10
SB	<b>-0.94</b>	0.08	0.08	0.19	-0.04	0.19
T	<b>-0.79</b>	<b>-0.24</b>	<b>0.43</b>	<b>0.29</b>	-0.13	0.04
V	<b>-0.66</b>	<b>0.51</b>	<b>-0.40</b>	-0.02	0.03	<b>0.26</b>
UMI	-0.11	<b>-0.40</b>	<b>-0.62</b>	-0.01	<b>-0.36</b>	<b>0.33</b>
AMO	<b>-0.71</b>	-0.02	<b>-0.36</b>	-0.19	0.12	-0.13
NIT	-0.05	<b>-0.46</b>	0.19	<b>-0.35</b>	-0.02	<b>0.45</b>
CB	-0.19	<b>-0.47</b>	<b>-0.34</b>	<b>0.33</b>	<b>-0.39</b>	<b>-0.35</b>
NB	<b>-0.27</b>	<b>-0.62</b>	<b>-0.29</b>	-0.02	-0.13	0.09
FAC	<b>-0.29</b>	<b>-0.54</b>	<b>-0.54</b>	0.03	<b>0.27</b>	-0.13
URE	<b>-0.41</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.33</b>	-0.02	-0.17
RBA	<b>-0.74</b>	<b>-0.37</b>	-0.12	0.06	<b>0.36</b>	0.11
FT	<b>-0.45</b>	0.04	<b>0.51</b>	<b>-0.51</b>	-0.03	-0.15
FO	<b>-0.45</b>	0.09	<b>0.40</b>	<b>-0.58</b>	0.06	-0.15
ESP	<b>-0.57</b>	0.10	0.01	<b>-0.23</b>	<b>-0.56</b>	<b>-0.22</b>
QCO2	<b>-0.46</b>	-0.05	0.07	<b>-0.32</b>	<b>0.68</b>	<b>0.24</b>
Auto-valores	9.74	3.85	2.90	1.95	1.83	1.51
Auto-valores cum.	9.74	13.59	16.49	18.44	20.26	21.77
Varição (%)	36.06%	14.27%	10.73%	7.22%	6.76%	5.60%
Varição (%) cum.	36.06%	50.33%	61.07%	68.28%	75.04%	80.65%

Onde: negrito -  $|\lambda| \geq 0,20$

<sup>1</sup> CP I, II, III, IV, V e VI, componentes principais I, II, III, IV, V e VI, respectivamente.

#### 5.4 TESTE DE MÉDIAS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ESCORES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS.

A Tabela 35 apresenta os valores médios dos escores do componente principal 1, em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações, ordenados segundo o teste de Tukey.

Considerando a média do fator I, foi observado efeito significativo para a interação sistemas de uso do solo e épocas de coleta. Na análise isolada de sistemas de uso do solo e épocas, foi registrado diferenças para os sistemas de uso, contudo, não ocorreram diferenças entre épocas.

**Tabela 35** - Valores médios dos escores do componente principal I em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Época	Mata		Braquiária		Mombaça		Milho		Média	
Abril	-0,05	A b	-0,07	A b	-0,33	A b	0,48	A a	0,01	A
Julho	-0,11	A b	-0,07	A b	-0,23	A b	0,22	A a	-0,05	A
Novembro	-0,17	A b	-0,08	A b	-0,12	A b	0,53	A a	0,04	A
Média	-0,11	Ab	-0,07	ab	-0,23	b	0,41	a	,000	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No desdobramento de sistemas de uso em cada época, em todos os meses avaliados, o solo cultivado com milho apresentou o maior valor para a média do fator I, os demais sistemas de uso não apresentaram diferenças entre si. Já no desdobramento de época em cada sistema de uso, não ocorreu diferenças significativas entre as épocas avaliadas em todos os sistemas de uso. Quanto ao efeito isolado de sistemas de uso a maior diferença foi observada entre o valor da média obtida entre o solo cultivado com milho e o solo cultivado com mombaça, com o maior e menor valor, respectivamente. As médias no solo da mata e no solo cultivado com braquiária apresentaram valores intermediários, que não diferiram significativamente entre si e também com as médias observadas para os solos cultivados com milho e com mombaça. Considerando o efeito de época, diferenças significativas não foram observadas.

A Tabela 36 apresenta os valores médios dos escores do componente principal II, em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações, ordenados segundo o teste de Tukey.

**Tabela 36** - Valores médios dos escores do componente principal II em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Época	Mata		Braquiária		Mombaça		Milho		Média	
Abril	-1,51	BC	0,01	Aab	0,43	Ba	-0,29	Bb	-0,34	B
Julho	-1,71	BC	0,43	Aab	0,90	Aa	0,09	Ab	0,06	A
Novembro	-0,43	AC	0,56	Aab	0,93	Aa	0,05	Ab	0,28	A
Média	-1,04	D	0,33	b	0,76	a	-0,05	c	0,00	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando a média do fator II, foi observado efeito significativo para a interação sistemas de uso do solo e épocas de coleta e também isoladamente para sistemas de uso e época.

Na análise dos sistemas de uso do solo em cada época, em todos os meses, os maiores valores para a média do fator II, corresponderam aos solos cultivados com mombaça e com braquiária, sendo que este último não diferiu do solo cultivado com milho. O menor valor ocorreu no solo da mata.

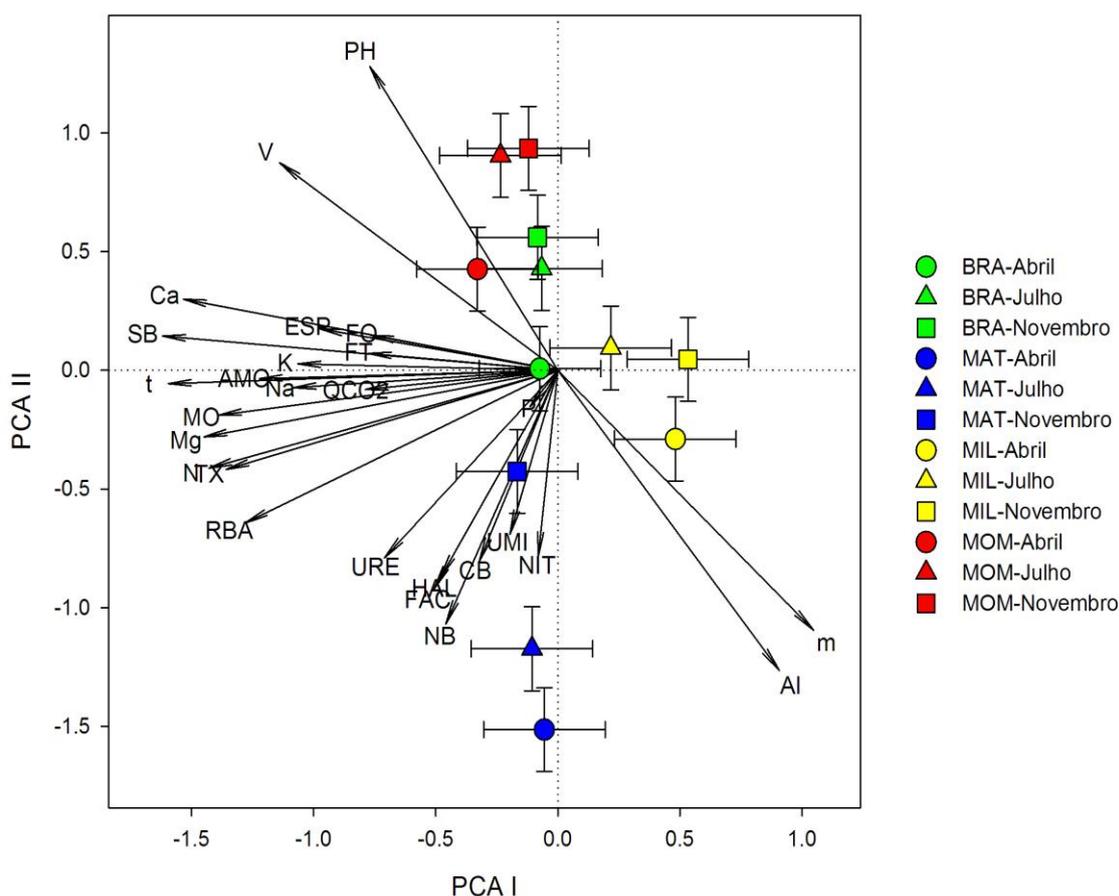
Analisando o efeito de épocas em cada sistema de uso, no solo da mata, o maior valor obtido para a média do fator II ocorreu em novembro, não havendo diferenças entre as médias para abril e julho. Nos solos cultivados com milho e com mombaça, os maiores valores da média ocorreram em julho e novembro, que não apresentaram diferenças significativas comparados entre si, sendo, entretanto, significativamente superiores ao valor registrado em abril. No solo cultivado com braquiária, não foi observada diferenças entre as médias registradas para os meses.

O efeito para a análise dos sistemas de uso do solo, atendeu a um gradiente significativamente decrescente de valores na seqüência dos sistemas com mombaça, braquiária, milho e mata. Considerando o efeito de época, o mês de abril apresentou o menor valor, enquanto que julho e novembro não apresentaram diferenças significativas entre suas respectivas médias.

A Figura 43 apresenta a disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta de solo dos componentes principais I e II e orientação dos autovetores obtidos na análise fatorial.

Pela análise do componente principal I e orientação dos autovetores (Tabela 35; Figura 43), evidenciou-se a diferenciação entre os sistemas de uso do solo, onde os sistemas com milho e com mombaça demonstraram condições, notadamente, distintas. Observou-se, pela orientação dos autovetores, que as variáveis percentagem de saturação de alumínio e teor de alumínio no solo foram importantes na determinação da diferença entre o sistema com milho comparado ao sistema com mombaça, considerando o efeito isolado de sistemas de uso, e também comparado aos demais sistemas avaliados em cada época de coleta, provavelmente, pelos maiores valores dessas variáveis no sistema com milho. As demais variáveis com efeito significativo e, portanto, integrantes da componente principal I com auto-

vetores de orientação negativa (Tabela 34), influenciaram, em geral, pelos seus menores valores, contribuindo também na diferenciação entre o sistema com milho comparado com os sistemas com braquiária, mombaça e mata.



**Figura 43** - Disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta de solo dos componentes principais I e II e orientação dos autovetores obtidos na análise fatorial.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PCA I e PCA II, componente principal I e II, respectivamente.

Considerando a análise do componente principal II (PCA II) e orientação dos autovetores (Tabela 36; Figura 43), observou-se a diferença entre o sistema da mata e os sistemas com milho, com braquiária e com mombaça. Observou-se também que a distinção do solo da mata em relação aos solos cultivados com mombaça e com braquiária, ocorreu pelos menores valores da média do escore, no sistema da mata, das variáveis teor de nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal, atividade da fosfatase ácida, teor de nitrato, acidez potencial. Enquanto que a diferença entre o sistema com mombaça comparado ao da mata, com milho, principalmente, e com braquiária,

ocorreu por influência dos maiores valores, no sistema com mombaça, das variáveis pH e percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7.

Os resultados do presente estudo, em que a análise integrada de variáveis determinaram diferenciações entre os sistemas de uso do solo avaliados, corroboram diferenças entre sistemas do uso do solo obtidas em estudos de Melloni et al. (2008) e Zatorre et al. (2009), também identificadas mediante análise integrada de variáveis indicadoras de qualidade do solo.

Através de análise multivariada, Melloni et al. (2008) observaram que os maiores valores de variáveis ligadas à fertilidade do solo como pH, soma de bases, teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7 ligadas à pastagens, promoveram a separação deste sistema dos sistemas com eucalipto, araucária e mata natural. Entretanto, a variável teor de matéria orgânica apresentou forte relação com os sistemas com eucalipto, araucária e mata natural, posicionando-se em sentido contrário ao da pastagem. Por outro lado, os autores também observaram que a diferenciação do solo sob mata dos solos sob eucalipto e araucária, foram reflexos dos maiores valores de carbono da biomassa microbiana, quociente respiratório e carbono orgânico do solo.

Zatorre et al. (2009), avaliando a influência das modificações da cobertura vegetal em propriedades do solo, observaram semelhanças entre áreas de capoeira e de floresta, sendo as variáveis carbono da biomassa microbiana e umidade do solo, as que mais contribuíram para a similaridade. Neste mesmo estudo, os maiores valores para as variáveis com teor de matéria orgânica, CTC, teor de fósforo, soma de bases, percentagem de saturação de bases, pH, carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente respiratório e umidade do solo, apresentaram a orientação dos autovetores em sentido contrário ao da pastagem e a favor dos sistemas de floresta e capoeira, sugerindo provável contribuição destas variáveis para a diferenciação entre os dois sistemas semelhantes comparados à pastagem.

Observa-se que entre os resultados do presente estudo e os apresentados por Melloni et al. (2008) e Zatorre et al. (2009), que algumas variáveis consideradas nos estudos e que contribuíram de forma mais destacada na diferenciação entre os sistemas de uso do solo, se repetem. Entre as variáveis químicas: matéria orgânica ou carbono orgânico, pH, soma

de bases, percentagem de saturação de bases. Entre as variáveis bioquímicas e biológicas: carbono da biomassa microbiana e quociente respiratório. Esta situação, de reprodução do comportamento dessas variáveis em estudos com propósitos semelhantes no sentido de distinguir alterações entre sistemas de uso, sugere que essas variáveis possuem boas possibilidades de serem usadas como indicadoras de alterações no solo, provocadas por diferenças entre as formas de uso.

A Tabela 37 apresenta os valores médios dos escores do componente principal III, em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações, ordenados segundo o teste de Tukey.

**Tabela 37** - Valores médios dos escores do componente principal III em função dos sistemas de uso, épocas de coleta de solo e interações.

Época	Mata		Braquiária		Mombaça		Milho		Média	
Abril	-1,44	BC	-1,52	Cc	-0,24	Bb	0,32	Ba	-0,72	C
Julho	0,44	Ab	0,15	Ab	0,56	Ab	1,32	Aa	0,62	A
Novembro	0,04	Ab	-0,92	Bc	0,31	Ab	0,97	Aa	0,10	B
Média	-0,32	C	-0,76	d	0,21	b	0,87	a	0,00	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando a média do fator III, foi observado efeito significativo para a interação sistemas de uso do solo e épocas de avaliação e também isoladamente, para sistemas de uso e épocas.

Na análise dos sistemas de uso do solo em cada época de coleta de solo, no mês de abril, os menores valores para a média do fator III ocorreram nos sistemas da mata e com braquiária, enquanto que o maior valor ocorreu no sistema com milho seguido do mombaça. No mês de julho, o maior valor ocorreu para o sistema com milho, enquanto que as médias observadas para os demais sistemas de uso não diferiram entre si. As maiores diferenças entre os valores no mês de novembro, ocorreram entre o sistema com milho e o sistema com braquiária, com o maior e menor valor, respectivamente. Os valores das médias para o sistema da mata e para o sistema com mombaça, não apresentaram diferenças significativas e ocuparam posições entre os dois extremos mencionados.

No desdobramento da interação, considerando a época de coleta em cada sistema de uso do solo avaliado, no sistema da mata, os maiores valores obtidos para a média do fator III ocorreu em julho e novembro, enquanto que em abril ocorreu o menor valor. Nos sistemas com milho e com mombaça, os maiores valores da média ocorreram em julho e novembro, enquanto que em abril ocorreu o menor valor. No sistema com braquiária, os valores atenderam a uma seqüência decrescente entre julho, novembro e abril.

O efeito na análise dos sistemas de uso do solo, atendeu a um gradiente decrescente de valores, significativamente diferentes, na seqüência de sistemas de uso do solo com milho, mombaça, mata e braquiária. Considerando o efeito de época, o mês de julho apresentou o maior valor, seguido pelos valores observados em novembro e abril, estabelecendo também um gradiente decrescente de valores com diferenças significativas.

A Tabela 38 apresenta os valores médios dos escores do componente principal IV, em função dos sistemas de uso e épocas de coleta de solo, ordenados segundo o teste de Tukey.

**Tabela 38** - Valores médios dos escores do componente principal IV e em função dos sistemas de uso e épocas de coleta de solo e interações.

Época	Mata		Braquiária		Mombaça		Milho		Média	
Abril	-0,10	BA	-0,26	Ba	0,04	Aa	0,08	Ba	-0,06	B
Julho	1,54	AA	0,59	Ab	0,52	Ab	0,68	Ab	0,83	A
Novembro	-0,21	BA	-0,83	Bab	-0,98	Bb	-1,07	Cb	-0,78	B
Média	0,41	A	-0,17	b	-0,14	b	-0,10	b	0,00	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi observado efeito significativo para a interação sistemas de uso do solo e épocas de coleta e também isoladamente para sistemas de uso e épocas.

Na análise dos sistemas de uso do solo em cada época, no mês de abril, não ocorreu diferenças significativas entre as médias dos sistemas de uso do solo avaliados. No mês de julho o maior valor para a média do fator IV ocorreu no sistema da mata, enquanto que os demais sistemas com braquiária, mombaça e milho apresentaram os menores valores, sem diferenças entre si.

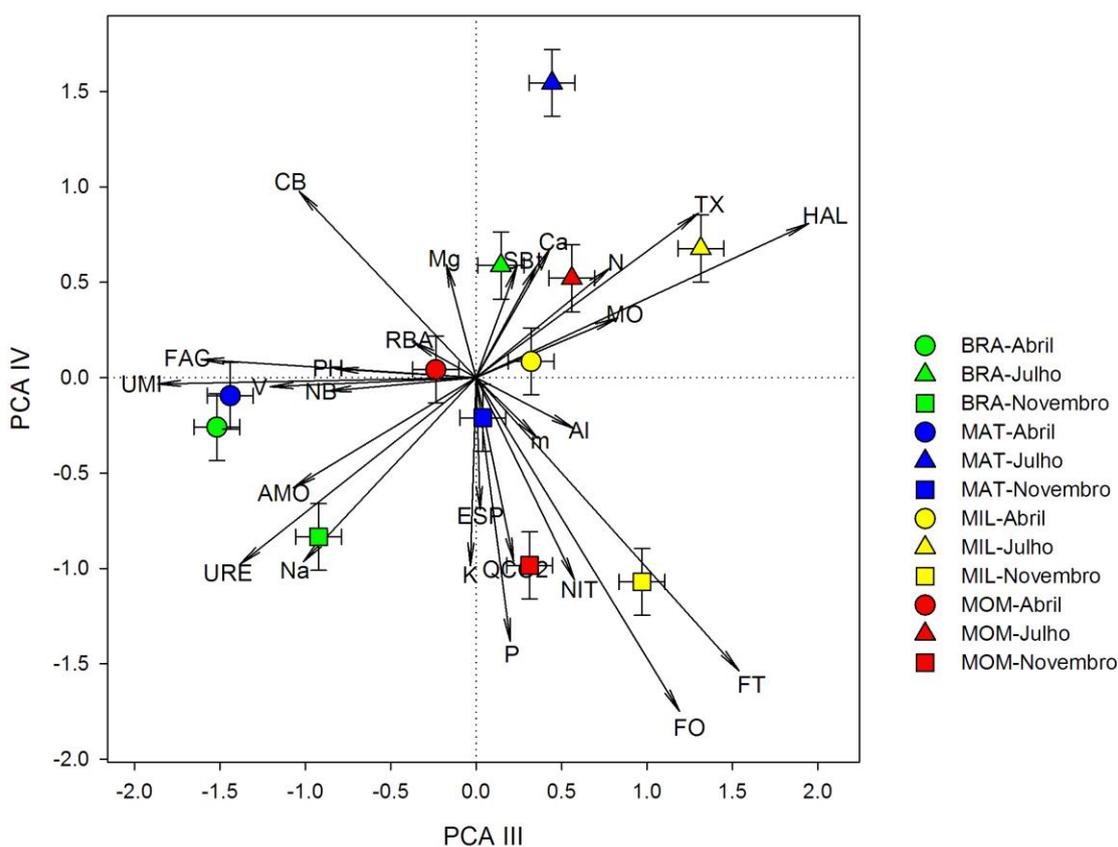
As maiores diferenças entre os valores no mês de novembro, ocorreram entre o sistema da mata, com o maior valor comparado aos sistemas com milho e com mombaça, com os menores valores. O valor da média para o sistema com braquiária, não apresentou diferenças significativas comparado ao sistema da mata e aos sistemas com milho e com mombaça, ocupando posição intermediária.

Considerando o efeito de épocas em cada sistema de uso, na mata e no sistema com braquiária, o maior valor obtido para a média do fator IV ocorreu em julho, enquanto que em abril e novembro ocorreram os menores valores, sem diferenças significativas entre as médias destes dois últimos. No sistema com mombaça, os maiores valores da média ocorreram em abril e julho, enquanto que em novembro ocorreu o menor valor. No milho, os valores atenderam a uma seqüência decrescente entre julho, abril e novembro.

O efeito na análise dos sistemas de uso do solo, de forma isolada, apresentou o maior valor para média observada no solo da mata, seguido pelos demais sistemas de uso, que não apresentaram diferenças entre si. Considerando o efeito de época, o mês de julho apresentou o maior valor seguido pelos valores observados em novembro e abril, que não apresentaram diferença significativa comparados entre si.

A Figura 44 apresenta a disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo dos componentes principais III e IV e orientação dos auto-vetores obtidos na análise fatorial.

Pela análise dos componentes principais III e IV e orientação dos autovetores (Tabelas 37 e 38; Figura 44), evidenciou-se que as diferenças registradas entre o mês de julho comparado com os meses de abril, principalmente, e novembro ocorreram pela influência dos maiores valores, em julho, das variáveis teor de nitrogênio, teor de matéria orgânica, acidez potencial e CTC a pH 7. Enquanto que a diferença entre o mês de abril comparado aos demais meses avaliados foi, provavelmente, influenciada pelos maiores valores das variáveis teor de carbono da biomassa microbiana, teor de nitrogênio da biomassa microbiana, atividades da urease e atividade da fosfatase ácida.



**Figura 44** - Disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo dos componentes principais III e IV e orientação dos autovetores obtidos na análise fatorial.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PCA III e PCA IV, componente principal III e IV, respectivamente.

O mês de julho coincide com o início do período seco, onde a deposição de resíduos pós colheita do milho foram acentuadas, ao que se adiciona a maior queda de folhas na mata no período seco (LUIZÃO, 2007), coincide também com o período subsequente ao final do período chuvoso (maio/junho), onde a produção de biomassa vegetal é acentuada e a atividade microbiana é intensa, face as altas temperatura e umidade que ocorrem nos trópicos (GARCIA, 2007). Desta maneira, as duas situações, possivelmente, ao se complementarem explicam o fato de que a variável teor de matéria orgânica no solo tenha contribuído para a distinção do mês de julho em relação aos outros dois meses avaliados.

A correlação positiva entre o teor de nitrogênio e o teor de matéria orgânica, observada no presente estudo, justifica a contribuição do teor de nitrogênio como uma das variáveis que condicionaram a diferença entre julho

e os demais meses. Por outro lado, o fato da variável CTC a pH 7 ter contribuído na distinção do mês de julho, também pode ser resultante da relação entre matéria orgânica e CTC. Longo e Espíndola (2000), em solo sob floresta da região amazônica, atribuíram os altos valores da CTC, observados nos horizontes superficiais do solo, ao conteúdo de matéria orgânica existentes. A CTC do solo, que é observada em condição de solo natural, influencia na determinação da CTC a pH 7 (LOPES; GUIDOLIN, 1989). Desse modo, relações envolvendo a CTC efetiva, infere-se que possam ser válidas para CTC a pH 7.

Na região em que foi realizado este estudo, o mês de abril está compreendido na estação chuvosa. Por outro lado, estudos relatam o efeito do clima sobre a biomassa microbiana do solo. Garcia (2007), observou maior conteúdo de biomassa microbiana na estação chuvosa, comparada com a estação seca. Gréggio (2006) identificou aumento da biomassa microbiana devido à maior temperatura e quantidade de chuvas (primavera-verão). Dados expostos por Cerri, Feigl e Cerri (2008), relacionados às alterações em solos sob floresta e pastagens com diferentes idades, na condição amazônica, demonstraram decréscimos nos valores do carbono da biomassa microbiana na estação seca comparada a estação chuvosa, atribuídos a condição de menor e maior umidade do solo, respectivamente. No presente estudo, os maiores teores de carbono da biomassa microbiana foram observados no mês de abril. Dessa maneira, a contribuição, pelo maior valor, da variável teor de carbono da biomassa microbiana na distinção do mês de abril comparado aos meses de julho e novembro, provavelmente, relaciona-se a este contexto, sendo, portanto, justificada.

A contribuição, pelo maior valor, da variável teor de nitrogênio da biomassa microbiana na distinção do mês de abril comparado aos meses de julho e novembro, pode estar relacionada ao processo de imobilização do nitrogênio pela biomassa microbiana, possivelmente, associada ao efeito de estação climática, conforme contextualização de informações apresentadas por Vargas e Scholles (1998), Cerri, Feigl e Cerri (2008) e Carvalho (2006).

Segundo Vargas e Scholles (1998), a biomassa microbiana atua como um tampão do nitrogênio do solo, controlando sua disponibilidade por meio de processos de mineralização e imobilização, de modo que em diferentes

manejos do solo, a microbiota recebe estímulos diferenciados devidos à composição dos resíduos das espécies vegetais e preparo do solo. Dados expostos por Cerri, Feigl e Cerri (2008), nas condições amazônicas, identificaram menores teores de nitrogênio da biomassa microbiana do solo na estação seca. Por sua vez, Carvalho (2006), em condições de cerrado amazônico, observou que na estação seca ocorreu aumento na quantidade de nitrogênio mineral pela maior mineralização, enquanto que na estação chuvosa ocorreu imobilização do nitrogênio pela biomassa microbiana do solo.

Longo e Melo (2005), em estudo sobre a atividade da urease no solo observaram que a velocidade da hidrólise da uréia, decorrente da atividade da urease, apresentou valores mais elevados nos meses mais quentes e úmidos. Esta situação, observada por Longo e Melo (2005), pode estar relacionada com o resultado observado no presente estudo, em que registrou-se uma associação positiva entre a maior atividade da urease com maior teor de umidade no solo. Por outro lado, nas condições do presente estudo, considerando que no mês de abril foram registrados maiores valores para atividade da urease e umidade do solo, e que este mês também inclui-se em um período onde são registradas simultaneamente altas precipitações pluviométricas, temperaturas e umidade relativa do ar na região do estudo (Tabela 3), é possível que este contexto tenha influenciado no sentido da contribuição, pelo maior valor, da variável atividade da urease na distinção do mês de abril comparado aos meses de julho e novembro.

A Tabela 39 apresenta os valores médios dos escores do componente principal V, em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo, ordenados segundo o teste de Tukey.

**Tabela 39** - Valores médios dos escores do componente principal V em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo e interações.

Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
Abril	-0,25 Ca	-0,92 Cb	-0,94 Bb	-1,04 Bb	-0,79 C
Julho	0,93 Ba	0,12 Bb	-0,03 ABb	-0,61 ABc	0,10 B
Novembro	1,69 Aa	0,92 Ab	0,30 Ab	-0,16 Ac	0,69 A
Média	0,79 A	0,04 b	-0,22 b	-0,60 c	0,00

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi observado efeito significativo para a interação sistemas de uso do solo e épocas de coleta e também isoladamente para sistemas de uso e épocas.

Na análise dos sistemas de uso do solo em cada época, no mês de abril, a média do fator V obtida no sistema da mata apresentou o maior valor comparada aos demais sistemas com braquiária, mombaça e milho, que não apresentaram diferenças significativas entre si. Em julho e novembro, também o sistema da mata apresentou o maior valor médio, seguido pelas médias observadas nos sistemas com braquiária e com mombaça, que não diferiram significativamente, enquanto que o sistema com milho apresentou o menor valor.

Considerando o efeito de épocas em cada sistema de uso, nos sistemas da mata e no cultivado com braquiária, os maiores valores obtidos para a média do fator V ocorreu em novembro, com uma seqüência decrescente de valores médios correspondendo a julho e abril. Nos sistemas com milho e com mombaça, a maior diferença entre as médias ocorreu entre os meses de novembro, com o maior valor, e abril, com o menor valor, enquanto que o valor da média observada em julho ocupou uma posição intermediária, sem diferir significativamente das médias dos meses de abril e novembro.

O efeito na análise dos sistemas de uso do solo apresentou o maior valor para média observada no sistema da mata, seguido pelas médias observadas nos sistemas com braquiária e com mombaça, que não diferiram significativamente entre si, enquanto que o sistema com milho apresentou o menor valor. Considerando o efeito de época, o mês de novembro apresentou o maior valor médio seguido pelos valores observados em julho e abril, sendo as diferenças significativas

A Tabela 40 apresenta os valores médios dos escores do componente principal VI, em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo, ordenados segundo o teste de Tukey.

Foi observado efeito significativo para a interação sistemas de uso do solo e épocas de avaliação e também isoladamente para sistemas de uso e época.

**Tabela 40** - Valores médios dos escores do componente principal VI em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo e interações.

Época	Mata	Braquiária	Mombaça	Milho	Média
Abril	0,90 Aa	-0,74 Ab	0,56 Aa	0,87 Aa	0,39 A
Julho	-0,52 Ba	-1,34 BB	-0,70 Ba	-0,28 Ba	-0,71 B
Novembro	0,84 Aa	-0,83 Abc	0,22 Ab	1,03 Aa	0,32 B
Média	0,40 B	-0,97 D	0,03 c	0,54 a	0,00

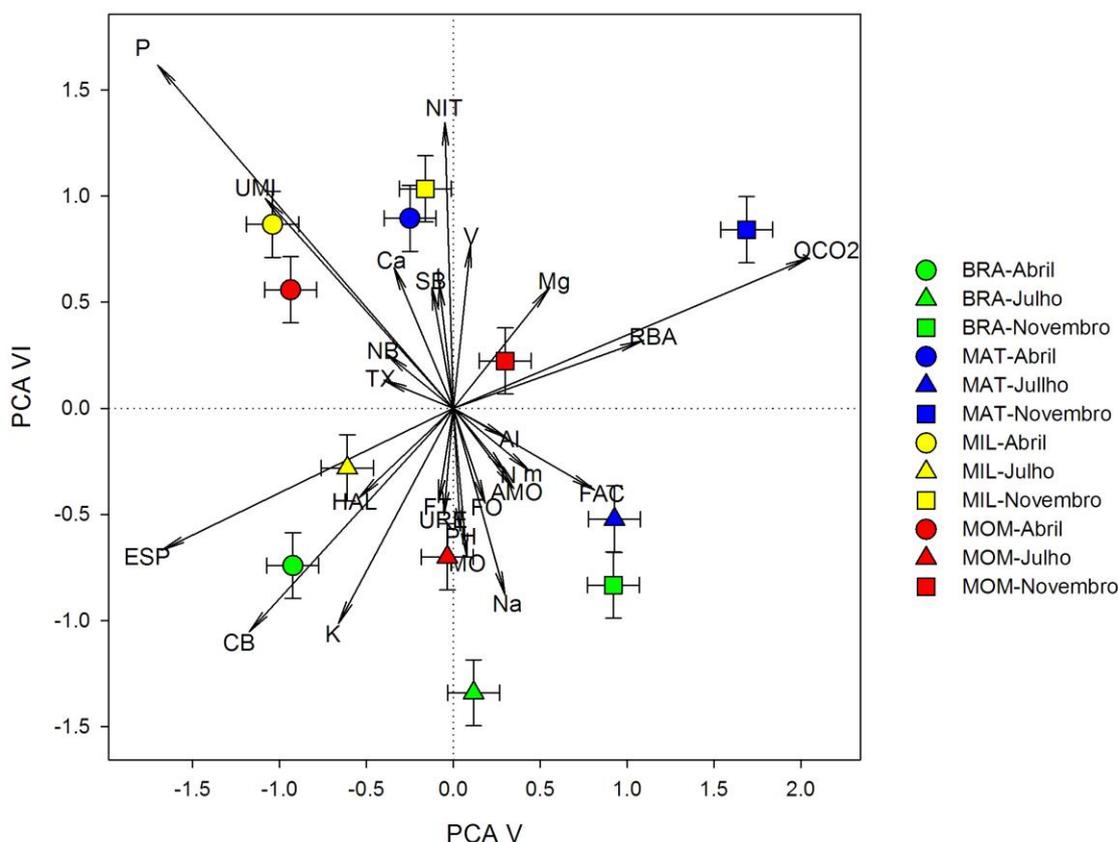
Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando o efeito de épocas em cada sistema de uso, nos sistemas da mata e nos cultivados com mombaça e com milho, os maiores valores obtidos para a média do fator VI ocorreram em abril e novembro, que não diferiram entre si, enquanto que julho apresentou o menor valor médio. No sistema com braquiária, a maior diferença entre as médias ocorreu entre os meses de abril, com o maior valor, e julho, com o menor valor, enquanto que o valor da média observada em novembro ocupou uma posição intermediária, sem diferir significativamente das médias dos meses de abril e julho.

Na análise dos sistemas de uso do solo em cada época de coleta de solo, no mês de abril e julho, as médias no sistema da mata, nos sistemas com mombaça e com milho, apresentaram os maiores valores, que não diferiram significativamente entre si, enquanto que o menor valor médio ocorreu no sistema com braquiária. Em novembro, o sistema da mata apresentou o maior valor médio em conjunto com o sistema com milho, não ocorrendo diferenças significativas entre as médias. O valor obtido no sistema com mombaça correspondeu a menor média. No sistema com braquiária, a média não apresentou diferença significativa entre as médias dos demais sistemas de uso do solo.

O efeito na análise dos sistemas de uso do solo apresentou o maior valor para média observada no sistema da mata, seguido pelas médias observadas nos sistemas com braquiária e com mombaça, que não diferiram significativamente, enquanto que o sistema com milho apresentou o menor valor. Considerando o efeito de época, o mês de novembro apresentou o maior valor médio, seguido pelos valores observados em julho e abril, sendo as diferenças significativas.

A Figura 45 apresenta a disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo dos componentes principais V e VI e orientação dos auto-vetores obtidos na análise fatorial.



**Figura 45** - Disposição dos escores médios e erro padrão em função dos sistemas de uso e épocas de coleta do solo, dos componentes principais V e VI e orientação dos auto-vetores obtidos na análise fatorial.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PCA V e PCA VI, componente principal III e IV, respectivamente.

Considerando o componente principal V e orientação de seus autovetores (Tabela 39; Figura 45), observou-se algumas diferenças ao nível de interação. Na interação de época de coleta em cada sistema de uso do solo, no sistema da mata, a diferença entre o mês de novembro e os meses de abril e julho ocorreram por influência dos maiores valores, em novembro, das variáveis quociente respiratório, principalmente, e respiração basal, enquanto que a variável atividade da fosfatase ácida, pelo seu maior valor em julho, contribuiu para a diferença entre este mês e os demais meses avaliados. Observou-se também, pelos maiores valores em abril nos solos da mata e cultivado com mombaça, a influência das variáveis umidade do solo e teor de

fósforo na distinção deste mês comparado com julho e novembro. No sistema com braquiária, observou-se na distinção do mês de abril, pelos maiores valores observados, comparado aos demais meses avaliados, uma influência das variáveis quantidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, teor de carbono da biomassa microbiana e, entre as variáveis químicas, o teor de potássio.

Considerando o componente principal VI e orientação de seus autovetores (Tabela 40; Figura 45) verificam-se evidências ao nível da interação de sistema de uso em cada época de coleta do solo. Em abril, verifica-se que a diferença entre o sistema com braquiária e os demais sistemas de uso avaliados, ocorreu pela contribuição, com menores valores, no sistema com braquiária, das variáveis bioquímica: quantidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, carbono da biomassa microbiana, além, como variável química, do teor de potássio. Relacionado ao mês de novembro, a a diferença entre o sistema com braquiária e os demais sistemas de uso avaliados, ocorreu, possivelmente, pela influência, mediante maiores valores, da variáveis quociente respiratório, teor de nitrato, umidade do solo, além das variáveis químicas teor de fósforo, teor de cálcio, CTC efetiva e percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7.

## 6 CONCLUSÃO

- As variáveis utilizadas no presente estudo, químicas, biológicas e bioquímicas, foram capazes de identificar alterações no solo entre os sistemas agropecuários avaliados e também entre os mesmos e o sistema natural de mata, usado como referência;
- Considerando os teores de matéria orgânica, importantes indicadores de qualidade do solo, poucas diferenças foram identificadas entre os sistemas estudados. Outrossim, o carbono da biomassa microbiana apresentou diferenças maiores, principalmente com menores teores no solo cultivado com milho, indicando um efeito depressivo na qualidade do solo e podendo, portanto, ser destacado um indicador da qualidade do solo.
- Os teores de fósforo foram classificados como baixos em todos os sistemas, mesmo no solo cultivado com milho e no solo cultivado com mombaça, que receberam adubações com esse nutriente, sugerindo grande fixação de fósforo nos sistemas estudados.
- Os solos das pastagens de braquiária e de mombaça, principalmente, apresentaram, em relação às bases trocáveis, vantagens em relação ao solo de mata e cultivados com milho, pelo maior valor de pH e conseqüentemente menor acidez trocável. Situação que reflete na melhoria da CTC efetiva e diminuição na percentagem de saturação de alumínio. Esse fato demonstra condição benéfica e de qualidade no contexto da fertilidade do solo, podendo admitir serviços dos sistemas com pastagens na melhoria da qualidade do solo.
- Os teores no solo de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e a acidez potencial nos sistemas avaliados foram influenciados pela época, de modo que, em geral, no mês de julho, essas variáveis apresentaram maiores valores, exceto o fósforo, cujo maior valor foi

observado abril.

- No solo sob mata, os maiores valores registrados pela teor de biomassa microbiana, respiração basal e quociente respiratório, indicam uma relação proporcional, de estabilidade do sistema. No do solo cultivado com milho, a proporcionalidade no sentido dos menores valores de biomassa microbiana, respiração basal e quociente respiratório, indicam uma condição de alteração no sistema, no sentido de perdas de carbono. A relação entre essas variáveis nos solos de pastagens indicam uma condição estável da biomassa microbiana com menor perda de carbono, refletindo na manutenção da qualidade do solo. Dessa maneira a relação entre essas variáveis podem ser utilizada na avaliação da qualidade do solo.
- Considerando a atividade das enzimas urease e fosfatase ácida, como indicadoras de qualidade do solo, alterações negativas foram identificadas no solo cultivado com milho e mombaça.
- Nas análises de correlação, as variáveis químicas apresentaram correlações mais fortes do que as bioquímicas e biológicas.
- As correlações negativas entre o teor alumínio, percentagem de saturação de alumínio com as variáveis pH, percentagem de saturação de bases da capacidade de troca de cátions a pH 7, teores de cálcio, potássio, magnésio, teor de matéria orgânica, teores de nitrogênio, sódio, soma de bases, capacidade de troca de cátions efetiva, capacidade de troca de cátions a pH 7. Além da forte correlação entre estas variáveis, admitem a possibilidade de seus usos como indicadoras da qualidade do solo.
- As análises dos componentes principais identificam variáveis que exercem influência na distinção dos sistemas de uso do solo e também das variáveis responsáveis pelo efeito de épocas de coleta nos sistemas

de uso do solo, sendo, portanto, um instrumento estatístico importante na análise de estudos sobre a qualidade do solo.

- As variáveis percentagem de saturação de alumínio e teor de alumínio, principalmente, promoveram a separação entre o sistema com milho e o sistema com mombaça. As variáveis teor de nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal, atividade da fosfatase ácida, teor de nitrato e acidez potencial, promoveram a distinção entre o sistema de mata dos sistemas com mombaça e com braquiária. Diferenças entre o sistema com mombaça comparado aos sistemas com milho, principalmente, com a mata e com braquiária foram promovidas pelas variáveis pH e percentagem de saturação de bases da CTC a pH 7.
- Diferenças entre os sistemas de uso pelo efeito de coletas no mês de julho comparadas com abril, principalmente, e novembro foram influenciadas pelas variáveis teor de nitrogênio, teor de matéria orgânica, acidez potencial e CTC a pH 7. Diferenças entre mês de abril comparadas aos demais meses foram influenciadas pelas variáveis teor de carbono da biomassa microbiana, teor de nitrogênio da biomassa microbiana, atividades da urease e fosfatase ácida. Dessa maneira, no uso dessas variáveis como indicadores da qualidade devem ser observados a interferência das estações.
- Diante da presença com escores significativos entre o maior número de componentes principais, dos seis componentes que determinaram 80,65% da variação dos dados, o teor de carbono da biomassa microbiana demonstra ser um importante indicador da qualidade do solo.

## REFERÊNCIAS

ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology**. London: Academic Press, 1995. p.215-220.

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. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. p.117-142.

ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. **Integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 47)

ALVAREZ V., V. H.; MELLO, J. W. V.; DIAS, L. E. **Fertilidade e manejo do solo: acidez e calagem do solo**. Brasília: ABEAS, 1996. 67p.

ALVES, L. N. **Uso intensivo da pastagem de *Brachiaria brizantha* (Hochst ex. A Rich) na engorda de bovinos em Belém-Pa**. 1999. 70f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal do Pará, Belém. 1999.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) 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.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J. G.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARAÚJO, S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n.3, p. 66-75, 2007.

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 preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 641-649, 1998.

\_\_\_\_\_; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.35, p.300-306, 2004.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores de qualidade ambiental em áreas com *Araucaria angustifolia* no Estado de São Paulo**. 2007. 158f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2007.

BASTOS , T. X.; SILVA, G. de F. G. da; PACHECO, N. A.; FIGUEIREDO, R. de O. **Informações agroclimáticas do Município de Paragominas para planejamento agrícola**. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/14ba598d933112b1c2d224097080cee212.pdf>> Acesso em: 25 de nov. 2010.

BATISTA, Q. R.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; SILVA, C. F. da. Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. e sabiá. **Revista Caatinga**. Mossoró, v.21, n.1, p.169-178, jan./mar. 2008.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. P.; SANTOS, H. G. dos; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Embrapa Solos. Documentos, 46).

BERNAUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. de A.; FERNANDES, S. A. P. F. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronossequência de floresta tropical-pastagem de Paragominas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.777-783, 1999.

BONFIM, J. A.; MATSUMOTO, S. N.; MIGUEL, D. L.; SANTOS, M. A. F.; CÉSAR, F. R. C. F.; ARAÚJO, G. S.; GUIMARÃES, M. M. C.; COELHO, R. A.; LIMA, J. M.; LEMOS, C. L.; SOUZA, A. J. Determinação da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol, no município de Vitória da Conquista, Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 727-730, out. 2007.

BRAGA, G. **Interpretação de análise de solos**. 2009. Disponível em: <<http://recantodasletras.uol.com.br/tutoriais/1918429>>. Acesso em: 03 de jan. 2010.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional; Ministério do Meio Ambiente; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Casa Civil da Presidência da República; Secretaria Geral da Presidência da República. **Plano Amazônia Sustentável**: cenários propostos para um novo desenvolvimento regional

(resumo executivo). Brasília, 2006. 29p.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S. Interpretação dos resultados de análise de solo. In: CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p.43-48.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapide extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.17, p.837-842, 1985.

CAMARÃO, A. P.; AZEVEDO, G. P. C.; VEIGA, J. B.; RODRIGUES FILHO, J. A. **Avaliação de pastagens de capim-brachiário em pastejo rotacionado, Castanhal, Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 23p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 14).

CAMARGO, F. A. O.; SILVA, L. S.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.86-99.

CAMARGOS, S. L. **Conceitos sobre fertilidade e produtividade**. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso; Faculdade de Agronomia e Veterinária; Departamento de Solos e Engenharia Rural, 2005. 41p.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L.; GRANA, J. R. D. O.; MARINHO, N. F. Fungos micorrízicos arbusculares em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de bauxita. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.373-381, 2005.

CARBALLO, A. M. C. **Atributos químicos do solo afetados por métodos de prepara e sistemas de culturas**. 2004. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

CARMO, J. B.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C. Disponibilidade nitrogênio e fluxos de N<sub>2</sub>O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.735-746, 2005.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.4, p.276-205, out./dez. 2008.

\_\_\_\_\_; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.147-157, 2009.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. J. **Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de cerrado utilizando plantio direto e plantio convencional**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 23p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 121).

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo**. 2005. 79f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba. 2005.

CARVALHO, J. E. B.; DIAS, R. C. S.; MELO FILHO, J. F.; NASCIMENTO, P. S.; DIAS, C. B. **Efeito de sistemas de manejo nos indicadores químicos de qualidade do solo**. 2007. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_2/IndQuimicos/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/IndQuimicos/Index.htm)>. Acesso em: 8 nov. 2009.

CARVALHO, J. L. N. **Conversão do cerrado para fins agrícolas na Amazônia e seu impactos no solo e no ambiente**. 2006. 95f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2005.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n.2, p. 195-203, abr./jun. 2007.

CASSINI, S. T. **Ciclo do nitrogênio**. Vitória: UFES/PPGE/Biotecnologia Ambiental, 2005. 34p. Disponível em: <[http://www.inf.ufes.br/neyval/Gestao\\_ambiental/Tecnologias\\_Ambiental2005/Ecologia/CicloNPS.doc](http://www.inf.ufes.br/neyval/Gestao_ambiental/Tecnologias_Ambiental2005/Ecologia/CicloNPS.doc)>. Acesso em: 11 jun. 2009.

CATELLAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.133-142, 1990.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto alegre: Metrópole, 2008. p.325-358.

CHAER, G. M. **Modelos para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos químicos e biológicos**. 2001. 90f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

CHU, E. Y.; DIEKMANN, U. **Efeitos de usos alternativos do solo sobre a população de fungos micorrízicos arbusculares na Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 20 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16)

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato no solo no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.923-930, 2002.

CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SAGGIN JUNIOR. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n.3, p. 147-153, 2005.

CORRÊA, E. S.; COSTA, F. P.; MELO FILHO, G. A.; CEZAR, I. M.; PEREIRA, M. A.; COSTA, N. A.; SILVEIRA FILHO, A.; TEIXEIRA NETO, J. F. **Sistema e custo de produção de gado de corte no Estado do Pará – Região de Paragominas**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2005. 15p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 96).

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo na Amazônia central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p.107-114, jan. 1995.

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; AMABILE, R. F.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.3, p. 399-406, mar. 2007.

COSTA, A. S. V. **O fósforo no sistema solo-planta**. Governador Valadares: Univale, 2007. 63p.

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

COSTA, N. A.; CARVALHO, L. O. D. M.; TEIXEIRA, L. B.; SIMÃO NETO, M. **Pastagens cultivadas na Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 151p.

CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa, 2007. 262p.

\_\_\_\_\_; SMYTH, T. J.; SILVEIRA FILHO, A.; EL-HUSNY, J. C. Resposta da soja ao fósforo em Latossolo Amarelo Muito Argiloso do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 2007, Gramado. **Anais....**Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1 CD-ROM.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para plantio direto. **Revista Plantio Direto**. Passo Fundo, n.100, 2007. Disponível em: <[http://www.agrisus.org.br/arquivos/consorcio\\_milho\\_braquiaria\\_RPD.pdf](http://www.agrisus.org.br/arquivos/consorcio_milho_braquiaria_RPD.pdf)>. Acesso em: 04 fev. 2010.

\_\_\_\_\_; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Integração lavoura pecuária: benefícios das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.125, p.2-15, 2009.

DALFRÉ, R. R.; COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M. C. **Carbono e atividade da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo em Rio Verde (GO)**. Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://usp.br/siicusp/15Siicusp/4943.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2008.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M.

A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p.913-923, 2002.

DAVIDSON, E.; CARVALHO, C. J. R.; VIEIRA, I. C. G.; FIGUEIREDO, R.; MOUTINHO, P.; ISHIDA, F. Y.; SANTOS, M. T. P.; GUERREIROS, J. B.; KALIF K.; SABA, R. T. Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest. **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4 p.S150-S163, aug. 2004.

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. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 263-276.

\_\_\_\_\_; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, M. de A.; ASSIS, R. L.(Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Agrobiologia;Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.19-28.

DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In: SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N.(Ed.). **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília: Embrapa-SPI, 1997. p. 29-48.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A. ; CAMPELLO, E. F.C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.955-990.

DIAS-FILHO, M. B. Estratégias de recuperação de pastagens no Estado do Pará. In: TEXEIRA NETO, J. F.; COSTA , N. A.(Ed.). **Criação de bovinos de corte no Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. p.75-92. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de Produção, 03).

\_\_\_\_\_. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK,D.F.; STEWARD, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of

America, 1994. p.3-21. (Soil Science Society of America. Special Publication, 35).

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

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatase in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.9, p. 167-172, 1977.

EL-HUSNY, J. C.; ANDRADE, E. B.; MEYER, M. C.; ALMEIDA, L. A. **Cultivares de soja para microrregião de Paragominas, Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1998. 19p. (Embrapa Amazônia Oriental. Circular Técnica, 76).

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; SOUZA, F. R. S.; SILVEIRA FILHO, A.; ALMEIDA, L. A. de; KLEPKER, D. & MEYER, M. C. **Recomendação de cultivares de soja para a microrregião de Paragominas-Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 6p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 82).

\_\_\_\_\_; SILVEIRA FILHO, A.; ANDRADE, E. B.; CARVALHO, E. J. M.; BENCHIMOL, R. L.; VELOSO, C. A. C. V.; CORREA, J. R. V.; SOUZA, F. R. S. **Soja BRS Candeia: comportamento e recomendação para plantio nas microrregiões de Paragominas e Santarém**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 5p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 182).

EMBRAPA. **Agricultura sem queima**. Brasília: Embrapa, 2003.VCR.(Embrapa. Comunicação para Transferência de Tecnologia).

\_\_\_\_\_. **Embrapa capacita ao uso do software NuMass 2.2**. Belém, 5 de maio de 2008. Disponível em: <<http://www.cpatu.embrapa.br/noticias/2008/embrapa-capacita-ao-uso-dosoftwa-re-numass-2.2>>. Acesso em: 20 de maio de 2008.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R.

Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, p.104-113, 2001.

FALESI, I. C. **Ecosistemas de pastagem cultivada na Amazônia brasileira**. Belém: Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, 1976. 193p. (Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido. Boletim Técnico, 1).

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais....** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.

FERREIRA, J. M. L. **Indicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. 2005. 90f. Dissertação (Mestrado em) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

FERREIRA, S. J. F.; CRESTANA, S.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F. Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia central. **Acta Amazonica**, Manaus, v.31, n.3, p.381-396, 2001.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F. ; OLIVEIRA, T. S. de; SILVA JÚNIOR, J. M. T. da. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.37, n.3, p. 250-257, 2006.

FRIGHETTO, R. T. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação-extração. In: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.157-166. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

\_\_\_\_\_; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).

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. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p.159-170.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1521-1530, 2008.

GARCIA, M. R. L. **Indicadores microbiológicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo agropecuário**. 2007. 156f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2005.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soil by sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v.46, p.235-244, 1963.

GODOI, L. C. L. **Propriedades microbiológicas de solos de áreas degradadas e recuperadas na região de cerrados goianos**. 2001. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2001.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.991-1017.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 8p. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes\\_Filizola\\_indicadoresIDu1keja1HAN.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicadoresIDu1keja1HAN.pdf) . Acesso em: 18 set. 2009.

GRÉGGIO, T. C. **Atividade microbiana na decomposição de *Hevea brasiliensis* em diferentes remanescentes florestais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2006.

GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostra de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.4, p.291-299, abr. 1996.

GUIMARÃES, M. F.; TAVARES FILHO, J.; MÜLLER, M. M. L.; DESJARDINS, T. Organização do solo e distribuição radicular em pastagens da Amazônia. Disponível em: <[http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_6/divers1/010025723-04.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_6/divers1/010025723-04.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2010.

HOMMA, A. K. O. A expansão da soja na Amazônia: a repetição do modelo da pecuária? In: SEMINÁRIO GEOPOLÍTICA DA SOJA NA AMAZÔNIA, 2003. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental; Museu "Emílio Goeldi", 2003. 8p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão Territorial do Brasil**: Divisão Territorial do Brasil e Limites Territoriais, 2008. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/Organizacao/Divisao\\_Territorial/2008/DTB\\_2008.zip](ftp://geoftp.ibge.gov.br/Organizacao/Divisao_Territorial/2008/DTB_2008.zip)>. Acesso em: 11 out. 2009.

\_\_\_\_\_. **IBGE cidades**: Paragominas, Pecuária, 2008a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 08 jul. 2009.

\_\_\_\_\_. **IBGE cidades**: Paragominas, Produção agrícola municipal de cereais, leguminosas e oleaginosas 2008b. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 08 jul. 2009.

\_\_\_\_\_. **IBGE cidades**: Paragominas, Pecuária 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 07 de junho de 2004.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M. ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n.3, p. 305-317, 2003.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da; SANTOS, J. B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.2, p.118-127, abr./jun. 2008.

JANTALIA C. P.; VILELA, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Influência de pastagens e sistemas de produção de grãos, no estoque de carbono e nitrogênio em um latossolo vermelho**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 50p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 11).

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating

nematodes from soil. **Plant Disease Research**, Washington, v. 48, n.9, p. 692, sept. 1964.

JENKINSON, D. L.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement e turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Org.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981.v.5. p.415-471.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soil**, Berlin, v.6, n.1, p.68-72, 1988.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evolution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n.1, p.4-10,1997.

KATO, O. R.; KATO, M. S. A.; JESUS, C. C.; RENDEIRO, A. C. **Época de preparo de área para plantio de milho em sistema de corte e trituração no município de Igarapé-Açu, Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002a. 3p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 64)

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; JESUS, C. C.; RENDEIRO, A. C. **Genótipos de milho para plantio em sistema de corte e trituração**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002b. 4p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 65).

KEMPERS, A. J.; ZWEERS, A. Ammonium determination on in soil extracts by the salicylate methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.17, n.7, p.715-723, 1986.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; COBUCCI, T. Opções e vantagens da integração lavoura-pecuária e a produção de forragens na entressafra. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.240, p.16-29, 2007.

\_\_\_\_\_ ; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura –pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 2003. 570 p.

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 3).

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição**: uma revisão. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e feijão, 2002. 31p. (Embrapa Arroz e feijão. Documentos, 144).

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do Estado do Paraná**. 2003. 121f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2003.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações em características químicas de solos da região amazônica pela introdução de pastagens. **Acta Amazonica**, Manaus, v.30, n.1, p.71-80, 2000.

LONGO, M. L.; MELO, W. J. Atividade da urease em latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.645-650, 2005.

LOPES, A. M. **BRS Sertaneja**: cultivar precoce de arroz para terra firme do Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 4p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 198).

\_\_\_\_\_ ; SILVEIRA FILHO, A. **Bonança**: cultivar de arroz de sequeiro recomendada para a região nordeste do Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 4p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 72).

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. **Interpretações de análise de solo**: conceitos e aplicações. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1989. 64p. (ANDA. Boletim Técnico, 2).

LOPES, O. M. N.; CELESTINO FILHO, P. **Plantio direto de feijão *phaseolus* sobre palhada da leguminosa guandu na agricultura familiar da Transamazônica**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 4p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 81).

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.59, n.3, p.31-36, 2007.

LUIZÃO, R. C. C.; COSTA, E. S.; LUIZÃO, F. J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma seqüência de idades de pastagens após derruba e queima da floresta na Amazônia central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 29, p.45-56, 1999.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANLY, B. F. J. **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229p.

MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA, C. A.; UTIDA, M. K.; MONTEIRO, G. G.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. **Bioindicadores de qualidade do solo de cerrado sob sistemas de manejo para produção orgânica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 6p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 73).

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. **O estado da arte sobre indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas**. 10p. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE POTENCIALIDADES E LIMITES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1999. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/pgdr/arquivos/438.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2009.

MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F.; MENDES, I. C.; SELBACH, P. A. Biomassa e atividade microbiana como indicadores de qualidade do solo. In: MIYASAKA, S (Ed.). **Manejo da biomassa do solo visando a sustentabilidade da agricultura brasileira**. São Paulo: Navegar; FundAg, 2008. p.155-192.

\_\_\_\_\_; 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.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. M; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagens no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p. 2461-2470, 2008.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F, B. **Uso de parâmetros microbiológicos com indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 34p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 112).

MENDES, I. C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um LE sob plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.435-443, 2003.

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

MERGULHÃO, A. C. E. S.; OLIVEIRA, J. P.; BURITY, H. A.; MAIA, L. C. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas nativas impactadas por mineração gesseira no semi-árido brasileiro. **Hoehnea**, São Paulo, v.34, n.3, p.341-348, 2007.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.1-18.

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.1013-1019, out. 2004.

\_\_\_\_\_ ; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa micobiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11 p.1103-1110, nov. 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MURPHY, J., RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v. 27, p. 31-36, 1962.

NAHAS, E. **Ciclo do fósforo: transformações microbianas**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 67p.

\_\_\_\_\_. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas, **Bragantia**, Campinas, v.61, p.267-275, 2002.

NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRÃO, E. A. S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forestry recovery and agricultural restoration. **Ambio**, Oslo, v.20, p.248-255, 1991.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N. S.; CURTI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. de S.; D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistemas agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p. 105-112, jan./fev. 2009.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV; DPS, 1999. 399p.

NOVO PARÁ. **Riqueza que brota da terra em grãos**. Belém: Governo do Estado do Pará, 2001. p. 44-59.

NÚÑEZ, J. E. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do; MANZUR, N. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um argissolo. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.101-109, 2003.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, P. C.; MORAES, R. N. S. **Atributos químicos do solo sob diferentes plantas de cobertura na implantação do sistema plantio direto**. 16p. Disponível em: <<http://www.ufmt.br/agtrop/revista8/doc/05.doc>>. Acesso em: 07 maio 2008.

PARAGOMINAS. Secretaria Municipal de Agricultura, Indústria e Comércio de Paragominas. **Desafios da agropecuária numa perspectiva de futuro para Paragominas**. Paragominas: SEMAIC, 2004. não paginado.

PARAGOMINAS. Secretaria Municipal de Agricultura, Indústria e Comércio de Paragominas. **Estimativa de área plantada, produção e renda bruta da safra de milho, arroz e soja nos municípios de Paragominas, Ulianópolis e Dom Eliseu na safra de 2008**. Paragominas: SEMAIC, 2008. não paginado.

PASSOS, H. D. B.; PIRES, M. M. Indicadores ambientais para avaliação de agroecossistemas. **Informe Gepec**, Cascavel, v.12, n.1, p.1-15, jan./jun. 2008.

PARTELLI, F. L.; BUSATO, J. G.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P.; CANELLAS, L. P. Qualidade da matéria orgânica e distribuição do fósforo no solo de lavouras orgânicas de café Conilon. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p.2065-2072, out. 2009.

PEIXOTO, M. F. S. **Atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores do solo.** Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/ Centro de Ciências agrárias Ambientais e Biológicas. 22p. Disponível em: <[http://www.ufrb.edu.br/mapeneo/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=5&Itemid=31](http://www.ufrb.edu.br/mapeneo/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=5&Itemid=31)>. Acesso em: 24 maio 2008.

PEREIRA, F. H.; MERCANTE, F. M.; PADOVAN, M. P. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v.3, n.2, p. 130-133, 2008.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um Latossolo Amarelo cultivado com pastagens na Amazônia Oriental. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.531-537, 2000.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p. 567-573, fev. 2004.

PFENNING, L.; EDUARDO, B. P.; CERRI, C. C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana nos 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**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PLATAFORMA PLANTIO DIRETO. **Introdução e histórico.** Disponível: <<http://www22.sede.embrapa.br/plantiodireto/>> . Acesso em : 08 fev. 2010.

POLLETO, N.; GROHS, D. S.; MUNDSTOCK, C. M. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32. p.1619-1626, 2008.  
RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres, Potafós,1991. 343p.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 40p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 205).

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base

para distinção de ambientes. 5 ed. Lavras: UFLA, 2007. 322p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.) **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para um contexto institucional de P&D. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, p.349-375, 2002.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária**: ambitec-agro. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. 95 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 34).

RODRIGUES, T. E.; SILVA, J. M. L.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. **Avaliação da aptidão agrícola das terras do município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003b. 27p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 163).

\_\_\_\_\_; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. **Caracterização e avaliação da potencialidade dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003a. 51p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 162).

SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. de. Dinâmica do carbono na conversão de floresta para pastagens em argissolos da formação geológica solimões, no sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n.1, p. 29-38, 2007.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema de plantio direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa – SPI, 1998. 248p.

\_\_\_\_\_; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária do Oeste, 2005. 58p. ( Embrapa Agropecuária do Oeste. Boletim de Pesquisa, 29).

SANTOS, C. A. P.; TÓTOLA, M. R.; BORGES A.C.; KASUYA, C. M. Atributos indicadores da qualidade do solo em povoamentos de eucalipto fertirrigado no Vale do Rio Doce - MG. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.2, p.135-141, mar./abr. 2009.

SANTOS, D. R.; CASSOL, P. C.; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.101-111.

\_\_\_\_\_ ; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.576-586, mar./abr. 2008.

SANTOS, G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. .F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SENA, M.M.; FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J.; TOKESHI, H.; POPPI, R.J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.67, n.2, p.171-181, 2002.

SERRÃO, E. A. S.; DIAS-FILHO, M. B. Establecimiento y recuperación des pasturas entre los productores del trópico húmedo brasileño. In: LASCANO, C. E.; SPAIN, J. M. (Ed.). **Establecimiento y renovación des pasturas**. Cali: CIAT, 1991. p.347-384. (CIAT Publication, 178).

\_\_\_\_\_ ; HOMMA, A. K. O. Country profiles: Brazil. In: United States. National Research Council. **Sustainable agriculture and environment in the humid tropics**. Washington: National Academy. 1993. p.195-225.

\_\_\_\_\_ ; NEPSTAD, D. C; WALKER, R. T. Desenvolvimento agropecuário e florestal de terra firme na Amazônia: sustentabilidade, criticalidade e resiliência. In: HOMMA, A. K. O. **Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI; Belém: Embrapa-CPATU, 1998. p.367-386.

SILVA, A. K. L. **Dinâmica de serapilheira e produção de raízes finas em**

**plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) e floresta sucessional em Aurora do Pará, Amazônia oriental.** 2009. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará; Embrapa; Museu Emílio Goeldi, Belém. 2009.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; CORREIA, M. E. F.; SAGGIN-JUNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas no entrono do parque estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). **Revista Caatinga**, Mossoró, v.19, n.1, p. 01-10, jan./mar. 2006.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>).** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99).

SILVA, F. C.; ABREU, M. F.; PÉREZ, D. V.; EIRA, P. A.; ABREU, C. A.; RAIJ, B. V.; GIANELLO, C.; COELHO, A. M.; QUAGGIO, J. A.; TEDESCO, M. J.; SILVA, C. A.; CANTARELLA, H.; BARRETO, W. O. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F. C.(Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.107-188.

\_\_\_\_\_ ; EIRA, P. A.; BARRETO, W. O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. **Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo:** métodos usados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1998. 40 p. (Embrapa Solos. Documentos, 3)

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

SILVA, M. A. C.; CENTURION, J. F.; MELLIS, E. V. Alterações antrópicas nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Científica**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.152-157, 2004.

SILVEIRA FILHO. A.; CARVALHO, E. M.; EL-HUSNY, J. C; SOUZA, F. R. S.; ANDRADE, E. B. Adaptação e avaliação do sistema de plantio direto na região nordeste do Estado do Pará. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23.,2001, Londrina. **Resumos** .... Londrina: Embrapa Soja, 2001a. p.166 ( Embrapa Soja. Documentos, 157).

\_\_\_\_\_ ; \_\_\_\_\_ ; \_\_\_\_\_ ; \_\_\_\_\_ ; \_\_\_\_\_ .  
Adaptação e avaliação do sistema de plantio direto na região sudeste do

Estado do Pará. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23.,2001, Londrina. **Resumos** .... Londrina: Embrapa Soja, 2001b. p.165 ( Embrapa Soja. Documentos, 157).

SILVEIRA, R.B.; MELLONI, R.; PEREIRA, E.G. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 2, n.2, p.21-29, abr./jun. 2004.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agroecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.12, p.1499-1506, dez. 1989.

\_\_\_\_\_; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 142p.

SOUZA, F. R. S.; CORRÊA, L. A.; VELOSO, C. A. C.; ANDRADE, E. B.; EL-HUSNY, J. C.; SILVEIRA FILHO, A.; CORRÊA, J. R. V.; RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, A. R. **Avaliação de cultivares de milho nas regiões nordeste e oeste do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 5p.(Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 77).

SOUZA, F. R. S.; VELOSO, C. A. C.; EL-HUSNY, J. C.; CARVALHO, E. J. M.; CORRÊA, J. R. V. **Avaliação de cultivares de milho nas regiões nordeste, oeste e baixo Tocantins no Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 6p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 146).

SOUZA, J. R. S.; CARVALHO, S. P.; COHEN, J. C. P.; ALVALÁ, R. C. S.; GANDÚ, A. W. Umidade do solo sob floresta e pastagem no leste da Amazônia. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006. Disponível em: <<http://mtc.m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm15%4080/2006/10.25.13.41/doc/Souza.Umidade.pdf>>. Acesso em 25 out. 2010.

SOUZA, J. R. S.; LOPES, Z. F.; COHEN, J. C. P.; COSTA, A. C. L. Variabilidade da temperatura e umidade em solos sob floresta, pastagem e manguezal, no leste da Amazônia. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002. p.2522-2528. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbmfiles/1187a05b6c03f8bb21587702bd7da651ec.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2010.

SUDAM; PNUD. **Diretrizes para política pecuária na Amazônia**. Belém: Sudam, 1997. 39 p.

TEXEIRA, L. B.; OLIVEIRA, R. F. **Balanço de nutrientes em capoeira, agroecossistemas e pastagens no nordeste do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 24p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 10).

\_\_\_\_\_; SIMÃO NETO, M. Renovação e adubação de pastagens. In: COSTA, N. A. da; CARVALHO, L. O. D. M.; TEIXEIRA, L. B.; SIMÃO NETO, M. (Ed.). **Pastagens cultivadas na Amazônia**. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p.113-136.

TEIXEIRA NETO, J. F.; SIMÃO-NETO, M.; COUTO, W. S.; DIAS-FILHO, M B.; SILVA, A. B.; DUARTE, M. L. R.; ALBUQUERQUE, F. C. **Prováveis causas da morte do capim-braquiário (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) na Amazônia**: relatório técnico. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 20p. (Embrapa Amazônia Oriental. (Documentos, 36).

\_\_\_\_\_; VEIGA, J. B.; COSTA, N. A.; LOURENÇO JUNIOR, J. B. Alimentação e nutrição do rebanho. TEIXEIRA NETO, J. F.; In: TEIXEIRA NETO, J. F.; COSTA, N. A.(Ed.). **Criação de bovinos de corte no Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. p.27-44. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de Produção, 03).

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2002. v.2. p.195-276.

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

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

VARGAS, L. K.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas de plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.76-83, 2005.

VASCONCELOS, L. G. T. R.; ZARIN, D. J.; CARVALHO, C. J. R. ; SANTOS, M. M. L. S.; VASCONCELOS, S. S.; OLIVEIRA, F. A. Carbono, nitrogênio e

atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.44, p.49-63, 2005.

VEIGA, J. B. Formação e manutenção de pastagem. In: VEIGA, J. B.(Ed.). **Criação de gado leiteiro na zona bragantina**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. p. 59-66. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistema de Produção, 02).

\_\_\_\_\_; TOURRANT, J. F. **Pastagens cultivadas na Amazônia brasileira: situação atual e perspectivas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 36p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 83).

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; PIKETTY, M. G.; CHAPUIS, R. P.; ALVES, A. M.; THALES, M. C. **Expansão e trajetória da pecuária na Amazônia: Pará, Brasil**. Brasília: Universidade de Brasília, 2004. 162p.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P.; AMÉZQUITA, E.; BARRIOS, E.; ANDRADE, M. Gisq, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.39, n.12, p.3066-3080, 2007.

VIEIRA, I. C. G.; FERREIRA, L. V.; HOMMA, A. K. O. **Programa de C&T para recuperação de áreas alteradas no arco do desmatamento da Amazônia: relatório final (para discussão)**. Belém: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2006. 108 p.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1975. 464p.

VIEIRA, L. S. **Ocorrência e forma de fósforo em solos da Amazônia, Brasil**. 1966. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrícolas) - Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba. 1966.

VIEIRA, L. S.; OLIVEIRA, N. V. C. **Os solos do Estado do Pará**. Belém: Instituto do Desenvolvimento Econômico Social do Pará, 1971. 175 p. (Instituto do Desenvolvimento Econômico Social do Pará. Cadernos Paraenses, 8).

VIEIRA, R. F; SILVA, C. M. M. S. **Indicadores de qualidade do solo: desenvolvimento de índices**. Disponível em:<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/item/13662/1/artcongressA65.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2009.

YANG, J. E.; SLOGLEY, E. O.; SCHAFF, B. E.; KIM, J. J. A . Simple spectrophotometric determination of nitrate water, resin and soil extracts. **Soil Science of American Journal**, Madison, v.62, p. 1108-1115, 1998.

ZATORRE, N. P.; TEIXEIRA, R. O.; FELÍCIO, N. C.; FRANÇA, A. F.; WADT, P. G. S.; BERBARA, R.; SANTOS, G. Influência das modificações da cobertura em algumas propriedades de solos do Acre. Porto Alegre, **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.2, p.2545-2549, 2009.