

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Variação de Atributos e Dinâmica de Carbono e  
Nitrogênio em Organossolos em Função de Uso e  
Manejo Agrícola no Rio de Janeiro**

**Paula Fernanda Chaves Soares**

**2011**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS E DINÂMICA DE CARBONO E  
NITROGÊNIO EM ORGANOSSOLOS EM FUNÇÃO DE USO E  
MANEJO AGRÍCOLA NO RIO DE JANEIRO**

**PAULA FERNANDA CHAVES SOARES**

*Sob a Orientação da Professora*  
**Lúcia Helena Cunha dos Anjos**

*e Co-orientação do Professor*  
**Marcos Gervasio Pereira**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2011

631.417

S676v

T

Soares, Paula Fernanda Chaves, 1985-

Variação de atributos e dinâmica de carbono e nitrogênio em organossolos em função de uso e manejo agrícola no Rio de Janeiro / Paula Fernanda Chaves Soares - 2011.

87 f.: il.

Orientador: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 60-69.

1. Solos orgânicos - Rio de Janeiro (Estado) - Teses. 2. Solos - Teor de nitrogênio - Teses. 3. Solos - Teor de compostos orgânicos - Teses. 4. Solos - Teor de carbono - Teses. I. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos, 1956. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

□

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**PAULA FERNANDA CHAVES SOARES**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**,  
no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 15 / 02 / 2011

---

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ  
(Orientadora)

---

Fabiano de Carvalho Balieiro. Dr. EMBRAPA Solos

---

Gustavo Souza Valladares. Dr. UFC

*Aos meus pais Virgínia Maria Barbosa Chaves Soares e Paulo César Gomes Soares,  
aos meus demais familiares, ao meu namorado, aos amigos,  
aos meus professores sem os quais não estaria me formando, e  
a mim, que busquei o título de Mestre...*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Aos meus pais que abriram mão de alguns de seus sonhos para que eu pudesse chegar até aqui, por seus ensinamentos diários de que o mais importante na vida é fazer o que se quer para então ser feliz.

Ao restante da família, tios e avós que deixei de frequentá-los durante os anos do mestrado, ao Maylon e Laura pela ausência. Amo vocês...

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela lição de vida, pelos anos que nunca mais irei esquecer, pelos amigos adquiridos, pelas minhas irmãs de alojamento F4 – 102 ao qual passei cinco anos.

Ao meu namorado enfim encontrado: Fernando Zuchello, que me ajudou inúmeras vezes, foi muito paciente e nos meus momentos de ansiedade e nervosismo sempre esteve ao meu lado.

A professora orientadora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pelo exemplo de profissionalismo e pelos momentos de convívio. Ainda pela orientação do trabalho e pelo incentivo que muito contribuíram para minha formação.

Ao professor Marcos Gervasio Pereira, sempre esteve presente em minha vida de ruralina, pela orientação, amizade, ensinamentos de vida e acima de tudo pela paciência e apoio durante os momentos mais difíceis que passei na UFRRJ.

A professora Érika Flávia Machado Pinheiro pelo apoio nas atividades de campo e amizade.

Aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação de Agronomia - Ciência do Solo da UFRRJ, pela formação e conhecimentos adquiridos. Em especial ao Professor Alexandre Ravelli Neto, que me ensinou que a gente tem que saber o que quer encontrar, na pesquisa e principalmente na vida.

Aos amigos de laboratório, pela colaboração e pelos muitos momentos bons que tivemos, em especial Rafael Cipriano, Adierson, Deivid, Anderson, Sidinei e a todos os estagiários de Laboratório de Gênese e Classificação de Solo.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado; a FAPERJ, pelo financiamento do projeto; e a EMBRAPA Agrobiologia e Solos pela disponibilidade e acessibilidade a equipamentos. Ao Pesquisador Bruno Alves pelo auxílio e disponibilidade de equipamentos durante os anos de estudo.

Ao produtor Sr. Miatta em Santa Cruz, a Pesagro e ao grupo Primus Ipanema que me receberam muito bem e permitiram a implantação do experimento em suas áreas.

Aos técnicos do Campus Leonel Miranda, seu Carmindo e Geraldinho que tanto me apoiaram no campo, aos motoristas Moraes e Genésio que me conduziram nas coletas.

E, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

## **BIOGRAFIA**

Paula Fernanda Chaves Soares, nascida em 7 de março de 1985, na cidade de Nova Iguaçu – Rio de Janeiro. É Engenheira Agrônoma e Licenciada em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em março de 2009 e março de 2010 respectivamente. Durante a graduação exerceu atividades de Bolsista de Iniciação Científica (CNPq/PIBIC/RURAL), no Departamento de Engenharia e junto ao laboratório de Gênese e Classificação de Solos, no Departamento de Solos, durante o período de agosto de 2006 a janeiro de 2009. Ingressou no Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo, na UFRRJ, em março de 2009 concluindo sua defesa de dissertação em fevereiro de 2011. Simultaneamente concluiu especialização em Engenharia Ambiental em 2010, pela Universidade de Nova Iguaçu.

## RESUMO

Soares, Paula Fernanda Chaves Soares. **Variação de atributos e dinâmica de carbono e nitrogênio em Organossolos em função de uso e manejo agrícola no Rio de Janeiro.** 2011. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

Os Organossolos caracterizam-se pelo alto teor de material orgânico, que distingue essa classe das demais no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. Ainda, por essa característica são solos mais frágeis diante do uso e manejo agrícola que solos com domínio de minerais. Dentre as práticas que mais alteram as propriedades edáficas, a drenagem é a mais importante e é responsável pelo processo de subsidência com impactos em vários atributos. Por outro lado, os Organossolos são importante reservatório natural de carbono no solo. Ainda assim são poucos os estudos sobre a dinâmica de carbono e nitrogênio e o potencial de contribuição com gases de efeito estufa diante do manejo agrícola. O estudo visa identificar alterações nos atributos edáficos e na dinâmica de carbono e nitrogênio de Organossolos em ambiente de várzea no Estado do Rio de Janeiro, em função de tipos de uso e manejo agrícola. Foram selecionadas três áreas com manejos distintos. Duas áreas localizam-se em Macaé, com pastagem e rotação de culturas anuais, e a terceira em Santa Cruz, no Rio de Janeiro, com mandioca (*Manihot esculenta*). Foram avaliados: atributos químicos e físicos, incluindo estabilidade de agregados e atributos específicos de Organossolos; teores de matéria orgânica do solo (MOS) e o teor de C nas frações humina (C-HUM), ácido húmico (C-FAH) e ácido fúlvico (C-FAF); estoques de C e N; e fluxos dos gases CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O do solo para a atmosfera. Em geral, a área com mandioca apresentou os maiores valores para o complexo sortivo em todas as profundidades; na primeira coleta o H variou de 32,1 a 33,2 cmolc kg<sup>-1</sup>, e o Ca entre 20,4 e 15,7 cmolc kg<sup>-1</sup>. Na segunda coleta destacam-se os valores de K e P (5,16 e 4,36 cmolc kg<sup>-1</sup> e 4 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) também maiores na área com mandioca. A MOS mostrou maior teor na área de pastagem para as duas coletas, com valores variando entre 306,3 a 249,0 g kg<sup>-1</sup> (método WB) e 297,8 a 278,5 g kg<sup>-1</sup> (método da mufla) na primeira coleta, e para a segunda coleta de 303,2 a 153,9 g kg<sup>-1</sup> (WB) e 322,9 a 176,1 g kg<sup>-1</sup> (mufla), o que indica que esse manejo é menos agressivo ao solo. As propriedades físicas dos Organossolos podem indicar o seu grau de subsidência. Assim, os valores altos de densidade da partícula e densidade do solo (em torno de 1,9 e 0,8 Mg m<sup>-3</sup>) mais o volume total de poros, que variou de 54 a 60% sendo os menores nas duas coletas, e o resíduo mínimo e material mineral com valores maiores (0,49 a 0,44 cm cm<sup>-1</sup> e 85,1 a 80,7%, respectivamente) indicam para a área de mandioca maior grau de subsidência. No fracionamento químico da MOS o C\_HUM indicou que essa fração teve maior expressão em todas as áreas. Na segunda coleta a área de mandioca apresentou os menores valores de C-HUM (79,05 a 76,27 g kg<sup>-1</sup>) seguidos de C\_FAH (44,56 a 40,05 g kg<sup>-1</sup>) e C\_FAF (20,37 a 14,36 g kg<sup>-1</sup>). Os estoques de carbono e nitrogênio foram mais altos no solo sob pastagem, indicando melhor conservação da MOS, com valores entre 117,12 e 72,93 Mg kg<sup>-1</sup> para C e 8,35 e 2,67 Mg kg<sup>-1</sup> para N. Os valores de fluxo de C-CO<sub>2</sub> estiveram dentro da faixa de variação proposta pelo IPCC, em que o maior valor de emissão correspondeu a 0,09 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na área de pastagem. Os valores de N-N<sub>2</sub>O foram menores que a taxa de emissão proposta pelo IPCC, com o valor mais elevado em torno de 270 µg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e na área com feijão. Em geral, a pastagem se destacou como o manejo que causou menor alteração nas propriedades dos Organossolos, dentre as formas de uso da terra avaliadas.

**Palavras-chave:** Solos orgânicos. Frações da matéria orgânica. Estoques de C e N. Emissão de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O.

## ABSTRACT

Soares, Paula Fernanda Chaves. **Changes in attributes and dynamics of carbon and nitrogen in Histosols due to agricultural use and management in Rio de Janeiro**. 2011. 75p. Dissertação (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

The Histosols are characterized by high organic content, distinguishing this class from others in the Brazilian System of Soil Classification. Because of this characteristic they are more fragile in face of agricultural use and management than mineral soils. The agricultural drainage is the most important practice that changes soil properties and it is the cause of subsidence, which impacts on other attributes. On the other hand, Histosols are an important natural reservoir of carbon in the soil. However, there are few studies on the dynamics of carbon and nitrogen and potential contribution of greenhouse gases as a result of agricultural usage. The study aims to identify changes in edaphic attributes and dynamics of carbon and nitrogen of Histosols in a floodplain environment in State of Rio de Janeiro, according to types of land use and agricultural management. Three areas with different managements were selected. Two areas are located in Macae municipality, under pasture and annual crop rotation, and the third in Santa Cruz, in Rio de Janeiro city, cultivated with cassava (*Manihot esculenta*). They were evaluated: chemical and physical attributes, including aggregate stability and specific attributes of Histosols; content soil organic matter (SOM), carbon in the fractions - humin (HUM-C), humic acid (HAF-C) and fulvic acid (C-FAF); stocks of C and N; and flux of gases CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O from soil to atmosphere. In general, the area cultivated with cassava had the highest values for the exchangeable cations at all depths; in the first sampling the H value varied from 32.1 to 33.2 cmolc kg<sup>-1</sup>, and Ca from 20.4 to 15.7 cmolc kg<sup>-1</sup>. In the second sampling K and P (5.16 to 4.36 cmol c kg<sup>-1</sup>, and 4 mg kg<sup>-1</sup>, respectively) were highest in the cassava crop area. The levels of (SOM) were highest in the pasture for the two sampling periods, with values ranging from 306.3 to 249.0 g kg<sup>-1</sup> (WB method) and 297.8 to 278,5 g kg<sup>-1</sup> (oven method) for the first sampling, and from 303.2 to 153.9 g kg<sup>-1</sup> (WB) and 322.9 to 176.1 g kg<sup>-1</sup> (oven) in the second period, indicating that this usage is less aggressive to the soil. The physical properties of Histosols may be used to indicate degree of subsidence. Thus, the high values of particle density and bulk density (1.9 and 0.8 Mg m<sup>-3</sup>); the total volume of pores that ranged from 54 to 60% with the lowest values in the two samplings; and minimum residue and mineral material highest than other usages (0.49 to 0.44 cm and 85.1 cm<sup>-1</sup> to 80.7%, respectively) in the cassava area point to the high subsidence of these soil. As for SOM chemical fractionation, the C\_HUM indicated that this fraction had highest expression in all areas. In the second sampling the cassava area showed the lowest values of C-HUM (79.05 to 76.27 g kg<sup>-1</sup>), followed by C\_FAH (44.56 to 40.05 g kg<sup>-1</sup>) and C\_FAF (20.37 to 14.36 g kg<sup>-1</sup>). The stocks of C and N were highest in the pasture area, indicating better preservation of SOM, with values from 72.93 to 117.12 mg kg<sup>-1</sup> for C and from 8.35 to 2,67 mg kg<sup>-1</sup> for N. The values of CO<sub>2</sub>-C flux were within the range of variation proposed by the IPCC, where the highest emission value corresponded to 0.09 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> in the pasture area. The values of N<sub>2</sub>O-N flux were lower than the emission rate proposed by the IPCC, with the highest value around 270 g N<sub>2</sub>O-N m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> in the area with beans. In general, the area with pasture management stood up as management that caused the least damage to the Histosols properties, among the land use evaluated.

**Key words:** Organic soils. Organic matter fractions. C and N stocks. CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Relação entre a cor dos Organossolos e as características do mesmo.....	11
<b>Tabela 2.</b> Relação de área superficial específica (ASE) e capacidade de troca de cátions (CTC) de alguns colóides do solo. ....	13
<b>Tabela 3</b> Diferenciação das áreas de estudo em função das características utilizadas para seleção. ....	20
<b>Tabela 4</b> Valores referentes à análise de rotina para a primeira coleta, abril de 2009, para os três tratamentos.....	28
<b>Tabela 5</b> Valores referentes à análise de rotina para a segunda coleta, abril de 2010, para os três tratamentos.....	30
<b>Tabela 6</b> Valores referentes à Soma de bases (S), Capacidade de troca catiônica (T) e Saturação por bases (V%), para os três tratamentos.....	32
<b>Tabela 7</b> Valores de pH com diferentes extratores: água, cloreto de cálcio e cloreto de potássio, referentes à primeira coleta.....	33
<b>Tabela 8.</b> Valores de pH com diferentes extratores: água, cloreto de cálcio e cloreto de potássio, referentes à segunda coleta.....	34
<b>Tabela 9</b> Valores de matéria orgânica do solo (MOS) obtidos com dois métodos, nas duas coletas e nos tratamentos e profundidades. ....	36
<b>Tabela 10</b> Valores de Dp, Ds e VTP das três áreas de Organossolos com manejos distintos e profundidades, referentes à primeira coleta.....	40
<b>Tabela 11.</b> Valores de Dp, Ds e VTP das três áreas de Organossolos com manejos distintos e profundidades, referentes à segunda coleta. ....	41
<b>Tabela 12.</b> Valores de densidade da matéria orgânica (DMO), resíduo mínimo (RM), material mineral (MM) e umidade gravimétrica (Ug) em três áreas de Organossolos com manejos distintos, referentes a primeira coleta.....	42
<b>Tabela 13</b> Valores de densidade da matéria orgânica (DMO), resíduo mínimo (RM), material mineral (MM) e umidade gravimétrica (Ug) em três áreas de Organossolos com manejos distintos, referentes a segunda coleta.....	443
<b>Tabela 14.</b> Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em três áreas de Organossolos com manejos distintos.....	44
<b>Tabela 15</b> Teores de carbono nas frações humina (C-HUM), ácido húmico (C-FAH) e ácido fúlvico (C-FAF), e relação C-FAH/C-FAF, para a primeira coleta. ....	45
<b>Tabela 16.</b> Teores de carbono nas frações humina (C_HUM), ácido húmico (C_FAH) e ácido fúlvico (C_FAF), e relação C-FAH/C-FAF, para a segunda coleta. ....	46
<b>Tabela 17</b> Valores de estoque de carbono determinado por via seca usando equipamento CHN/LECO, referentes à primeira coleta.....	49
<b>Tabela 18</b> Valores de estoque de carbono determinado por via seca usando equipamento CHN/LECO, referentes à segunda coleta. ....	50

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fenômeno de inundação e seca das várzeas, delimitando o leito maior e menor do rio, caracterizando um sistema de transição entre o ambiente terrestre e aquático..... 4
- Figura 2.** Processo de formação de Organossolo, (a) Aparecimento da vegetação nas bordas; (b) e (c) Colonização e acúmulo de resíduos; (d) Sucessão vegetal, espécies arbóreas e (e) Drenagem para fins agrícolas..... 5
- Figura 3.** Dinâmica da matéria orgânica do solo em relação aos processos e subprocessos..... 6
- Figura 4.** Mapa de ocorrência e distribuição dos solos orgânicos: Histossol segundo classificação utilizada pela FAO.. ..... 8
- Figura 5.** Relações entre os sistemas de manejo e os fatores controladores de emissão de CO<sub>2</sub> no sistema solos – atmosfera. .... 16
- Figura 6** Processos de nitrificação e desnitrificação. .... 18
- Figura 7.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de pH de dois extratores diferentes, KCl 1mol L<sup>-1</sup> e água.....34
- Figura 8.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de pH de dois extratores diferentes, CaCl<sub>2</sub> 1mol L<sup>-1</sup> e água.....35
- Figura 9.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de pH de dois extratores diferentes, ClCa<sub>2</sub> 1mol L<sup>-1</sup> e KCl..... 35
- Figura 10.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono obtidos pelos métodos mufla e CHN. .... 38
- Figura 11.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono obtidos pelos métodos Walkley-Black e CHN.. ..... 39
- Figura 12.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono obtidos pelos métodos mufla e Walkley-Black.. ..... 47
- Figura 13.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono orgânico pelo WB e o C da fração humina (C-HUM)..... 47
- Figura 14.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono orgânico pelo WB e o C da fração ácido húmico (C-FAH).....47
- Figura 15.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono orgânico pela WB e o C da fração ácido fúlvico (C-FAF).....47
- Figura 16.** Análise dos atributos do solo com ênfase na discriminação das áreas de estudo....51
- Figura17.** Análise dos atributos do solo com ênfase na contribuição das profundidades estudadas como discriminante.....52
- Figura18.** Análise geral, influência dos atributos do solo com ênfase no agrupamento em função das áreas do estudo.....53
- Figura19.** Valores de emissão de C\_CO<sub>2</sub> nos diferentes dias de coleta em função do manejo adotado, primeira coleta (a) e segunda coleta (b). Os valores foram submetidos ao teste de Tukey (0,05>p).....55
- Figura 20.** Valores de emissão de N\_N<sub>2</sub>O nos diferentes dias de coleta em função do manejo adotado, primeira coleta (a) e segunda coleta (b). Os valores foram submetidos ao teste de Tukey (0,05>p).....57

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Ambiente de Formação em Várzeas.....	3
2.2 Gênese e Classificação dos Organossolos em Várzeas.....	4
2.3 Ocorrência dos Organossolos.....	7
2.4 Processo de Subsidência.....	8
2.5 Indicadores Agro-ambientais.....	9
2.6 Caracterização dos Atributos Morfológicos e Físicos dos Organossolos.....	10
2.7 Caracterização dos Atributos Químicos dos Organossolos.....	13
2.8 Emissões de Gases de Efeito Estufa.....	14
2.8.1 Emissão de CO <sub>2</sub> .....	15
2.8.2 Emissão de N <sub>2</sub> O.....	17
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1 Localização e Caracterização das Áreas de Estudo.....	19
3.2 Métodos de Amostragem.....	20
3.3 Caracterização Analítica.....	21
3.3.1 Análises Químicas.....	21
3.3.2 Determinação do teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo.....	21
3.3.3 Determinação da matéria orgânica do solo (MOS).....	22
3.3.4 Coleta e análise de amostras de gases do solo.....	24
3.3.5 Indicadores físicos .....	25
3.4 Avaliação Estatística.....	27
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
4.1 Caracterização do Complexo Sortivo.....	28
4.1.1 Elementos trocáveis e extraíveis.....	28
4.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH).....	32
4.2 Teores de Matéria Orgânica dos Organossolos.....	35
4.3 Propriedades Físicas dos Organossolos.....	39
4.3.1 Atributos físicos exclusivos de Organossolos.....	41
4.3.2 Estabilidade de agregados.....	43
4.4 Fracionamento das Substâncias Húmicas.....	44
4.5 Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo.....	48
4.6 Integração dos Resultados dos Atributos dos Organossolos.....	50
4.7 Emissão de Gases do Solo.....	54
4.7.1 Emissão de CO <sub>2</sub> por Organossolos.....	54
4.7.2 Emissão de N <sub>2</sub> O por Organossolos.....	56
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>59</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos orgânicos constituem uma classe diferenciada de solo, pois apresentam suas propriedades condicionadas principalmente pelos elevados teores de material orgânico. Na maioria dos solos, a gênese está diretamente relacionada ao fator de formação relevo, que propicia condições de hidromorfismo. Este fator favorece a lenta decomposição e contínua deposição de restos vegetais e animais, condicionando o acúmulo de material orgânico e espessamento da camada orgânica, que, por sua vez constitui o material de origem do solo.

Os Organossolos são caracterizados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006) como solos pouco evoluídos que possuem elevado teor de carbono orgânico ( $\geq 80 \text{ g.kg}^{-1}$  ou mais) em uma espessura de 40 cm ou mais, e de coloração escura decorrente do material orgânico. A classe Organossolo é dividida em três subclasses sendo elas: Organossolos Tiomorficos, Organossolos Fólicos e Organossolos Háplicos.

A extensão territorial dos Organossolos é relativamente pequena quando comparada à extensão dos solos minerais e grande parte dos Organossolos não são identificados como unidades de mapeamento simples em levantamentos de solo, pois ocorrem como inclusões ou associados a outras classes, nas escalas dos mapas mais frequentes no Brasil. Porém, apesar da pequena área de abrangência, estima-se seja responsável por grande parte do estoque de carbono presente nos solos. Dessa forma, o entendimento dos processos que ocorrem nos Organossolos é essencial para o estudo da dinâmica da matéria orgânica (ciclo do carbono).

No Brasil há registro de Organossolos nos seguintes estados: São Paulo, Paraná, Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Minas Gerais. No Estado do Rio de Janeiro, os Organossolos ocorrem nos municípios de Macaé, Casemiro de Abreu, Campos dos Goytacazes, Silva Jardim, Itaguaí, Rezende, São José da Boa Morte, Itatiaia, Nova Friburgo e no município do Rio de Janeiro, nos bairros de Santa Cruz e Jacarepguá.

O elevado teor de carbono orgânico confere aos Organossolos atributos químicos, físicos e biológicos diferenciados. Dessa forma, apresentam características específicas como: alta suscetibilidade ao processo de subsidência, cores escuras podendo variar de amarronzadas, acinzentadas até o preto propriamente dito, fibras decorrentes do material vegetal depositado em diferentes graus de decomposição, elevada acidez potencial em função dos ácidos orgânicos e dos valores altos de alumínio e microorganismos anaeróbicos facultativos. A subsidência, perda de massa e volume, é sem dúvida uma das características mais marcantes nessa classe, onde solos recém drenados perdem espessura que podem variar de 1 a 6  $\text{cm.ano}^{-1}$  nos primeiros anos de cultivo.

Estudos em solos orgânicos sobre o teor de carbono e nitrogênio, bem como a dinâmica da matéria orgânica ainda são escassos, assim como as metodologias para determinação dos mesmos. Estes estudos são importantes para indicar possíveis manejos agrícolas mais adequados visando reduzir as taxas de mineralização da matéria orgânica e minimizar as emissões dos gases de efeito estufa (GEE) nos Organossolos. As propriedades e características da matéria orgânica que constitui esses solos são também determinantes da velocidade de mineralização da mesma, potencializando a emissão de C e N para a atmosfera na forma de gases.

Como a primeira prática para o cultivo e manejo agrícola dos Organossolos é a drenagem, o material orgânico é imediatamente exposto à aeração excessiva levando ao processo subsidência. Somando a utilização de práticas agrícolas convencionais, com revolvimento, adubação e calagem, ocorre aumento da atividade microbiológica e como consequência, aumenta a transformação da matéria orgânica do solo.

Este trabalho tem como hipótese científica que o estado de transformação da matéria orgânica e a forma de manejo em Organossolos em ambiente de várzea afetam os estoques de carbono, as propriedades edáficas e a emissão de gases de efeito estufa. O estudo visa identificar alterações nos atributos edáficos e na dinâmica de carbono e nitrogênio de Organossolos em ambiente de várzea no Estado do Rio de Janeiro, em função de tipos de uso e manejo agrícola. Desta forma contribuindo para indicar agrossistemas mais adequados para a manutenção dos teores de matéria orgânica do solo, conservação de atributos edáficos e redução da emissão de gases causadores do efeito estufa, bem como identificar atributos edáficos sensíveis a essas mudanças.

Os objetivos específicos são:

- a) Caracterizar as propriedades químicas e físicas, identificar teor e frações da MOS de modo a inferir sobre potencial de mineralização; e
- b) Quantificar os estoques de C e N no solo e avaliar possível relação com a intensidade de uso e manejo dos solos,
- c) Quantificar as emissões de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) em áreas sob distintos cultivos agrícolas em dois períodos de coleta.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Ambiente de Formação em Várzeas

As várzeas ou planícies de inundação como também são conhecidas, são sistemas de transição entre o ambiente terrestre e o aquático. Esse ecossistema é estruturado em função do constante fluxo horizontal de água na paisagem, sendo este fluxo maior ou menor de acordo com a sazonalidade ao longo do ano.

Alguns autores conceituam o termo várzea com diferentes definições dependendo da especificidade com que o tema é abordado, essas variações podem ser encontradas em trabalhos de Christofolletti (1980) onde: topograficamente, é uma planície constituída em uma superfície uniforme, próxima a um rio; hidrologicamente, é definida como uma superfície sujeita a inundação periódica; geologicamente, é a área do vale fluvial coberta com materiais depositados pelas cheias; geomorfologicamente é uma forma de terreno composta de material inconsolidado depositado pelo rio em épocas distintas.

Segundo a Resolução do CONAMA nº 4 de 18 de setembro de 1985 a várzea pode ser definida como sendo “*o leito maior sazonal: calha alargada ou maior de um rio, ocupada nos períodos anuais de cheia.*” No entanto, essa definição abrange todas as áreas que alagam e não apenas a várzea. Para Vieira (2000), podem ser utilizados outros termos para designar a várzea, como o leito de rio, por exemplo, leitos fluviais sazonais e canais aumentados, entre outros. De acordo com o Projeto de Manejo dos Recursos Naturais da Várzea (PROVÁRZEA, 2010), do Ministério do Meio Ambiente, o ambiente de várzea é conceituado como sendo áreas úmidas que são periodicamente inundadas pelo transbordamento lateral dos rios e lagos, promovendo interações entre os ecossistemas aquáticos e os terrestres. Essa definição será utilizada como referência para esse estudo. Assim, a várzea é um sistema híbrido que envolve duas fases distintas, interligadas e interdependentes (Figura 1).

A constante inundação destas áreas promove a formação de solos com grande heterogeneidade do material de origem e diferentes graus de hidromorfismo. Apresentando, conseqüentemente, grandes variações nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas do solo, levando a serem agrupados em diferentes classes de solos, com limitações e aptidões (Gomes, 2006). Essas áreas devido ao excesso de umidade têm predomínio de alguns processos químicos, tais como, de oxidação e estão sob vegetação de mata ou de campo higrófilo (Rassini et al., 1984; Klamt et al., 1985).

A várzea é um dos ecossistemas mais ricos em termos de diversidade biológica e recursos naturais, apesar de sua capacidade produtiva e resiliência natural, o atual processo de desenvolvimento agrícola está levando à degradação progressiva dessas áreas. Segundo o PROVÁRZEA (2010) existem poucos esforços para a conservação do ambiente de várzea estando os solos sujeitos a degradação, sendo as principais causas desse processo: a inadequada gestão ambiental, a falta de políticas específicas para promover o desenvolvimento sustentável desses ambientes (crédito, desenvolvimento tecnológico, infraestrutura, regularização fundiária), a escassez de sistemas efetivos de manejo dos recursos naturais, a deficiência do sistema de monitoramento e controle e a falta de uma estratégia de conservação específica.

O entendimento ecológico da relação entre os fatores abióticos e bióticos se faz necessário quando a finalidade é a conservação da natureza e a manutenção das funcionalidades ambientais em associação aos sistemas produtivos.



**Figura 1.** Fenômeno de inundação e seca das várzeas, delimitando o leito maior e menor do rio, caracterizando um sistema de transição entre o ambiente terrestre e aquático. (Fonte: Vieira, 2000).

## 2.2 Gênese e Classificação dos Organossolos em Várzeas

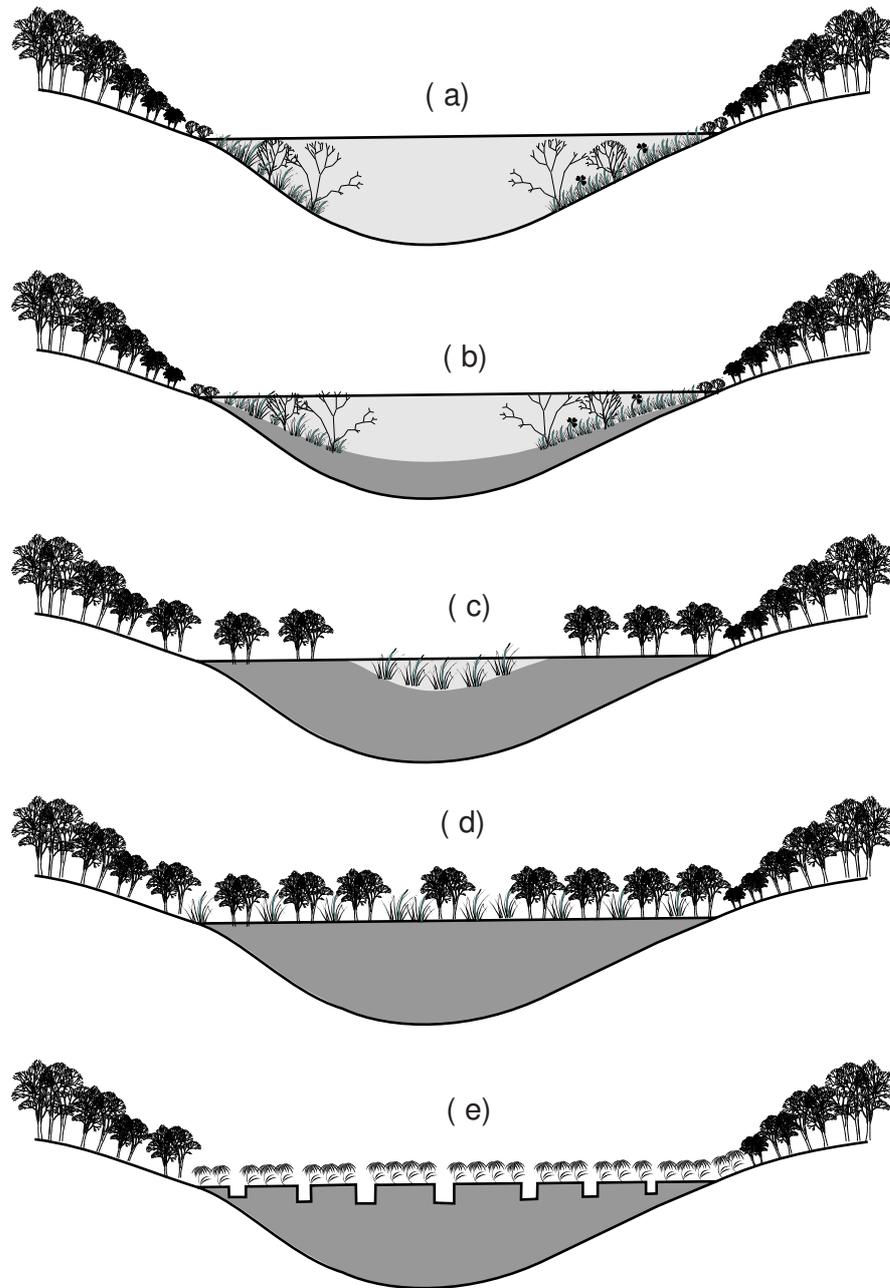
O processo de formação dos Organossolos ocorre de forma diferenciada dos demais solos, sua gênese está diretamente relacionada com a topografia local, sendo na fase inicial, um processo geogênico (Pons, 1960). O relevo como fator de formação do solo exerce forte influência no processo de paludização, que consiste na deposição e acumulação de material orgânico (Figura 2).

Para que ocorra o acúmulo de matéria orgânica no solo (MOS) é necessário que a entrada desta nos solos exceda a sua taxa de decomposição. Esse acúmulo pode ocorrer em ambientes de várzea, devido às condições de drenagem impedida (Conceição, 1989).

Esse ambiente é altamente favorável ao crescimento de vegetais adaptados como espigas-d'água (*Potamogeton*), tifa (*Typha*), ciperáceas (*Carex*), juncos (*Phragmites*), poáceas, musgos (*Sphagnum*) e arbustos, podendo-se encontrar árvores. Inúmeras gerações desses vegetais prosperam, morrem e submergem, ficando cobertos pela água, que exclui o ar, impossibilitando as reações de oxidação, preservando a MOS (Brady, 1989).

A posição topográfica induz à saturação com água com maior frequência e por maiores períodos (Driessen, 1978; Andriensse, 1984). Nessas condições, Nascimento (2004) afirma que a concentração de  $O_2$  vai diminuindo até, praticamente, desaparecer, concomitantemente ao aumento da população de microrganismos aeróbios facultativos e anaeróbicos. Com a diminuição do ambiente aeróbico, a velocidade de decomposição do material orgânico é retardada. Porém, o material orgânico continua sendo depositado com a mesma frequência e como consequência, ocorre um acúmulo e um espessamento de uma camada orgânica. O estoque de carbono encontra-se em um equilíbrio dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização (Scholes et al., 1997).

Brady (1989) comenta que conforme corre a sucessão vegetal o material orgânico é depositado nas depressões, resultando em diversas camadas de resíduos empilhadas. E que a constituição dessas sucessivas camadas é modificada quanto a qualidade e quantidade do material depositado com o decorrer do tempo pela provável sequência de plantas diferentes que sobrevivem durante a sucessão. Complementando, os autores informam que a sequência não é definitiva, nem regular, porque ligeiras modificações do clima ou na altura do lençol freático podem alterar em demasia o material depositado.



**Figura 2.** Processo de formação de Organossolo, (a) Aparecimento da vegetação nas bordas; (b) e (c) Colonização e acúmulo de resíduos; (d) Sucessão vegetal, espécies arbóreas e (e) Drenagem para fins agrícolas. (Fonte: Brady, 1989).

A velocidade com que ocorrem os processos de decomposição, mineralização e humificação do material orgânico depende da natureza dos resíduos adicionados, da capacidade que o material orgânico possui de adsorver água, da relação entre matéria orgânica e material mineral no solo, da profundidade de drenagem e do manejo do solo (Figura 3) (Andriess, 1984; Conceição, 1989; Valladares, 2003; Ebeling, 2006; Fontana, 2009).

A decomposição é resultado da oxidação de moléculas relativamente grandes que sofrem despolimerização esse processo transforma carboidratos, lipídios e proteínas, em moléculas menores e mais simples, como os ácidos carboxílicos, aminoácidos e  $\text{CO}_2$  (Stevenson, 1982). No processo de mineralização, os elementos ligados quimicamente e na forma orgânica (C, N, S e P) são convertidos para a forma mineral ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,

$\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) (Stevenson, 1999). E a humificação compreende a transformação de compostos com morfologia conhecida e identificável em compostos húmicos amorfos (substâncias húmicas) de elevado peso molecular e alta estabilidade (Stevenson, 1982).

Essa camada orgânica espessa passa a ser identificada como um horizonte superficial diagnóstico, denominado horizonte hístico. Se esse horizonte atender aos requisitos propostos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2006), ele pode caracterizar a ordem de solo denominada Organossolo. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos considera de grande importância o processo de formação dos solos, ou seja, sua gênese. Assim as ordens de solos são em grande parte definidas tendo por base o processo pelo qual o solo se formou o que pode ser inferido a partir de suas feições morfológicas.



**Figura 3.** Dinâmica da matéria orgânica do solo em relação aos processos e subprocessos.  
Fonte: Fontana (2009).

De acordo com o SiBCS (2006), o Organossolo pode ser definido como sendo de constituição essencialmente orgânica, podendo conter proporção variável de constituintes minerais. Citando o SiBCS:

*“É definido como a classe de solos constituídos por material orgânico proveniente de acumulação de restos de vegetais em grau variável de decomposição, acumulados em ambientes mal a muito mal drenados, ou em ambientes úmidos de altitude elevada, que estão saturados com água por poucos dias no período chuvoso. É identificado com uma coloração preta, cinzenta, muito escura ou marrom e com elevados teores de carbono orgânico”.*

Os Organossolos são classificados de acordo com os requisitos abaixo (texto extraído do SiBCS).

#### **i) Ordem: Organossolo**

Solos constituídos por material orgânico (teor de carbono orgânico maior ou igual a 80 g/kg de TFSA), que apresentam horizonte hístico, satisfazendo os seguintes critérios:

a) 60 cm ou mais de espessura se 75% (expresso em volume) ou mais do material orgânico consiste de tecido vegetal na forma de restos de ramos finos, raízes finas, cascas de árvores, etc., excluindo as partes vivas; ou

b) solos que estão saturados com água no máximo por 30 dias consecutivos por ano, durante o período mais chuvoso, com horizonte O hístico, apresentando as seguintes espessuras:

- 20 cm ou mais, quando sobrejacente a um contato lítico ou, o material fragmentado for constituído por 90% ou mais (em volume) de fragmentos de rocha (cascalhos, calhaus e matacões); ou

- 40 cm ou mais quando sobrejacente a horizontes A, B ou C; ou

c) solos saturados com água durante a maior parte do ano, na maioria dos anos, a menos que artificialmente drenados, apresentando horizonte H hístico com a seguinte espessura:

- 40 cm ou mais, quer se estendendo em seção única a partir da superfície do solo, quer tomado cumulativamente dentro dos 80cm superficiais.

## **ii) Sub Ordem**

### **- Organossolo Fólico**

Solos que estão saturados por água, no máximo por 30 dias consecutivos por ano, durante o período mais chuvoso, e que apresentam horizonte O hístico originado de acumulação de folhas, galhos finos, raízes, cascas de árvores, etc, em diferentes graus de decomposição, sobrejacente a contato lítico ou ocupando os interstícios de material constituído de fragmentos de rocha (cascalhos, calhaus e matacões). Em geral, localizam-se em ambientes úmidos de clima altimontano.

### **- Organossolo Tiomórfico**

Solos que apresentam horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos dentro de 100 cm da superfície do solo.

### **- Organossolo Háptico**

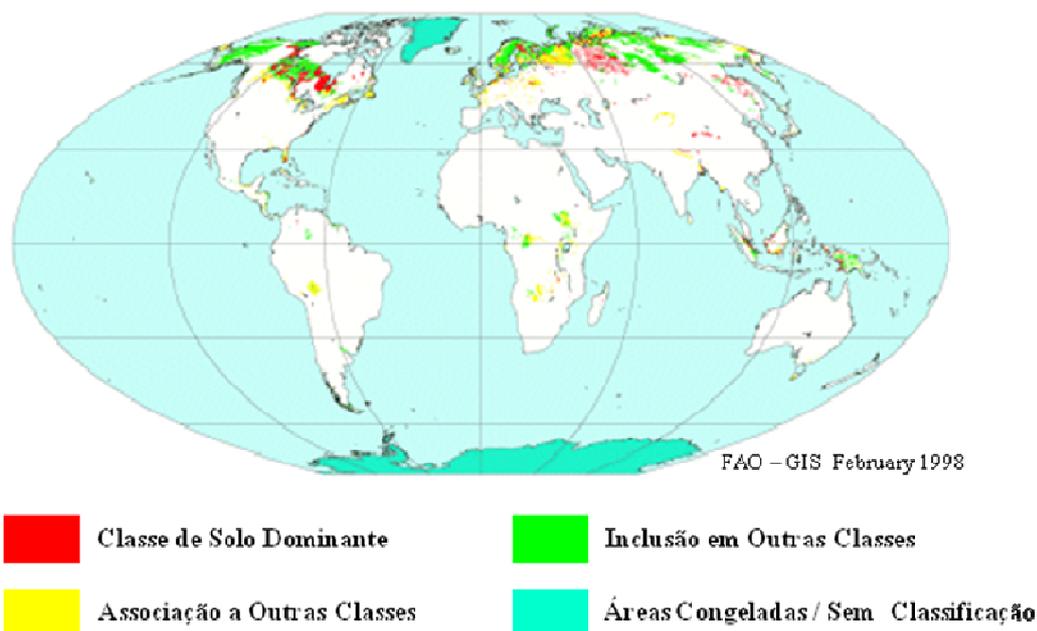
Outros solos que não se enquadram nas classes anteriores.

O presente estudo esta sendo realizado apenas em Organossolos Hápticos, não sendo, portanto detalhada neste texto a formação dos Organossolos Fólicos e Tiomórficos.

## **2.3 Ocorrência dos Organossolos**

A área de ocorrência de solos da ordem Organossolos (SiBCS, 2006) ou Histossols (U.S. Soil Taxonomy, 2010) é estimada como em torno de 325 - 375 milhões de hectares (FAO, 2010), dos quais 275 milhões estão localizados nas regiões boreais, ártica e subártica do hemisfério norte (Figura 4). São solos mais comuns no norte da Finlândia, no oeste da Escócia, no Canadá central, e leste dos Urais, na Rússia. Os Organossolos cobrem pouco mais de 2,5% da superfície continental da Terra, sendo que 80% deles ocorrem em zonas frias ou boreais (FAO, 2010).

O Brasil possui cerca de 1 milhão de ha de Organossolos, o que representa pouco mais de 0,1% do território nacional, segundo Coelho et al. (2002) apud Pereira et al. (2005). No Estado do Rio de Janeiro, os Organossolos ocorrem nos municípios de Macaé, Casemiro de Abreu, Campos dos Goytacazes, Silva Jardim, Itaguaí, Rezende e São José da Boa Morte. Ocorrem também na região serrana em Nova Friburgo e no Parque Nacional de Itatiaia. No município do Rio de Janeiro, a maior abrangência é na região de Santa Cruz ocupando área de 43 km<sup>2</sup>, o que representa 3,41% dos solos, segundo levantamento semidetalhado dos solos do município do RJ, realizado pela Embrapa (Embrapa, 1980). Ainda de acordo com levantamentos realizados pela Embrapa cerca de 20% da região dos vales dos rios Una, Macaé e São João são constituídos de relevo plano de várzeas, compostas de Organossolos e Gleissolos, perfazendo um total de 998 km<sup>2</sup>.



**Figura 4.** Mapa de ocorrência e distribuição dos solos orgânicos: Histossol segundo classificação utilizada pela FAO. (Fonte: [www.FAO.org](http://www.FAO.org), acessado em 23-09-2010).

Porém, a expressão geográfica dos Organossolos pode estar subestimada, pois não se tem mapeamentos detalhados identificando esses solos em várias regiões do Brasil. Os Organossolos não estão incluídos no Mapa de Solos do Brasil apresentado por Coelho et al. (2002), por não serem mapeáveis na escala usada, e não são listados entre as classes de solos que ocorrem no país (Pereira et al., 2005). Valladares (2003) menciona áreas nos estados da região Sul onde as unidades de solo são mapeadas e identificadas como Planossolos Hidromórficos, quando na verdade são Organossolos. Nas várzeas do Rio de Janeiro os Organossolos ocorrem associados a solos hidromórficos, tais como Gleissolos e Neossolos Flúvicos, não sendo identificadas unidades simples de Organossolos (Hungria, 1986).

A classe de Organossolos, mesmo que subestimada quanto à ocorrência, por possíveis classificações errôneas e por assimilação nas unidades de mapeamento das demais classes, possui grande importância ambiental, econômica e social. Em especial, por ocorrer principalmente em áreas próximas a centros consumidores, urbanos e industriais, favorecendo seu uso intensivo por agricultores familiares (Pereira et al., 2005).

## 2.4 Processo de Subsidência

Uma das características principais dos Organossolos em ambientes de várzea é a drenagem natural deficiente, uma vez que estes solos ocorrem nas partes mais baixas da paisagem e em relevo plano, dificultando a drenagem natural. Essa condição impossibilita a utilização desses solos para a maioria das culturas agrícolas, uma vez que, para o estabelecimento de grande parte dessas plantas é essencial a boa aeração do solo, para que aconteçam as trocas gasosas solo-atmosfera e respiração das raízes. Dessa forma, a primeira prática agrícola realizada nos solos orgânicos para seu cultivo é a drenagem. Ao fazer a drenagem ocorrem simultaneamente dois processos: o primeiro deles é a saída de água do perfil e, como consequência, o segundo processo passa a ser a entrada de oxigênio no sistema.

Quando a drenagem é iniciada, ocorrem alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo, muitas delas irreversíveis, dando início ao processo de subsidência. Nos Organossolos, o grau de subsidência assume papel importante para predizer o potencial de uso e os riscos de degradação do solo em função do manejo adotado (Valladares et al., 2008). A subsidência é a alteração mais preocupante, consistindo no rebaixamento da superfície do terreno pela remoção de água e conseqüente redução da capacidade de suporte do solo que perde massa e volume e se contrai (Andriessse, 1984); assim, a retirada da água e a oxidação da turfa aumentam a decomposição da matéria orgânica do solo.

O grau de subsidência depende da natureza da turfa, da capacidade de absorção de água, da proporção de matéria mineral no solo, da diversidade dos microorganismos decompositores e manejo adotado. Sendo muito mais rápida nos primeiros anos e tendendo ao equilíbrio com o decorrer do tempo, diminuindo a velocidade de decomposição e mineralização da MO (Andriessse, 1984). Os Organossolos apresentam riscos diferenciados de subsidência, com valores variando de 1 a 6 cm por ano (Incora, 1974; Conceição, 1989; Zon, 2008). Essa variação no grau de subsidência está relacionada a atributos específicos, em especial da qualidade da matéria orgânica e do ambiente de deposição (Conceição et al., 1999; Pereira et al., 2005).

A diferenciação entre os níveis de transformação do material orgânico é feita de acordo com o teor de fibras vegetal, as características dos principais tipos de material orgânico quanto ao grau de transformação encontram-se descritas no SiBCS, (2006). De acordo com o grau de transformação do material vegetal podem ser identificados três tipos de material: fíbriico, hêmico e sáprico.

A contração ocorrida durante a drenagem é uma conseqüência da subsidência no início do processo, pois ocorre rápida oxidação da matéria orgânica, com diminuição de volume e gradativo aumento da densidade, modificando as características originais do organossolo (Mendonça, 1999; Pereira et al., 2005), com o decorrer do tempo a densidade do solo e das partículas aumenta, sendo, portanto, bons indicadores físicos para estimar o grau de contração do solo (Valladares, 2003; Pereira et al., 2005).

Dependendo da frequência e da intensidade com que a drenagem é feita, pode ocorrer a secagem irreversível, o que promove a formação de novos compostos orgânicos, favorecidos pela exposição da superfície ao sol, ocasionando o desenvolvimento de grumos de turfa que são incapazes de absorver água (Andriessse, 1984). Associado a secagem do solo, Zon (2008) aborda que, com a entrada de oxigênio no sistema, pode ocorrer combustão “espontânea”, pelo aumento da atividade de decomposição da matéria orgânica pelos organismos do solo, com conseqüente aumento de temperatura na massa de solo em decomposição.

## **2.5 Indicadores Agro-ambientais**

Atualmente a forma de uso predominante do solo é o agroecossistema, que cobre aproximadamente um terço da superfície da terra (FAO, 2010). No Brasil, com 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, 62 milhões de hectares são cultivados e cerca de 170 milhões de hectares são passíveis de serem aproveitados (IBGE, 2007). Nesse contexto, são necessários indicadores agro-ambientais de qualidade/degradação das terras para o seu desenvolvimento sustentado.

Durante a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO, 1992), o termo desenvolvimento sustentável passou a ser oficial e o seu conceito associa meio ambiente e desenvolvimento, que devem caminhar juntos. Pode ser entendido como o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades. Esse conceito foi concebido de modo a conciliar as reivindicações dos defensores do desenvolvimento econômico como as preocupações de setores interessados na conservação dos ecossistemas e da biodiversidade (ECO, 1992).

Porém, a mudança do modelo praticado de agricultura baseado na geração de renda, para uma agricultura sustentável, não é simples. Representa passar de uma concepção restrita da produção orientada pela busca da rentabilidade máxima imediata, para uma agricultura a ser desenvolvida em conjunto com a natureza, sendo responsável pelo desenvolvimento local e gerenciando os recursos a longo prazo (Tavares, 2004). Portanto, para entender e monitorar as mudanças em direção a agricultura sustentável, surge a necessidade de se definirem indicadores agroambientais.

A Comissão Européia (2000) definiu indicadores agro-ambientais como um termo genérico para designar uma série de atributos que visam sintetizar informações sobre interações complexas entre agricultura e ambiente. Os indicadores são apropriados sempre que a informação inicial de um estudo for tão complexa que não permita ser entendida e trabalhada sem a agregação de outras informações (Muller et al., 2000). Esse termo vem sendo utilizado como sinônimo de saúde do solo e do ambiente, no que se refere à capacidade do solo sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais e do próprio ser humano (Doran et al., 1996; Sposito & Zabel, 2003). No mesmo sentido, Hammond et al. (1995) afirmam que os indicadores são úteis para simplificar, quantificar e dar informação sobre processos, tais como os relacionados à interação da sociedade-natureza, que são muito complexos para ser percebidos e medidos diretamente.

No início dos anos 1990, a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar nas publicações a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Com o crescimento da abordagem do recurso solo surge à necessidade de se ter indicadores de qualidade do solo.

O conceito de qualidade do solo atualmente utilizado foi reformulado por Doran (1997) como sendo: *“a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água (tamponamentos de gases) e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”*.

O entendimento do conceito citado acima de qualidade de solo compreende o equilíbrio entre os condicionantes geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos do solo (Bruggen & Semenov, 2000; Sposito & Zabel, 2003). Considerando ainda o tempo, como um fator de grande importância na busca pela sustentabilidade.

A qualidade do solo é aceita, frequentemente, como uma característica abstrata que depende, além de seus atributos intrínsecos, de fatores externos, como as práticas de uso e manejo, de interações com o ecossistema e das prioridades socioeconômicas e políticas. A avaliação quantitativa da qualidade do solo é fundamental na determinação da sustentabilidade dos sistemas de manejo utilizados (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

A determinação de indicadores de qualidade de solo é necessária para possibilitar a identificação de áreas degradadas ou em vias de degradação utilizada na produção agrícola, estimar a produtividade dessas áreas, monitorar mudanças na qualidade ambiental, auxiliar agricultores quanto ao manejo adequado dos solos e até mesmo orientar agências governamentais na formulação e avaliação de políticas agrícolas públicas e de uso da terra.

## **2.6 Caracterização dos Atributos Morfológicos e Físicos dos Organossolos**

Embora haja menor conhecimento quanto às características físicas, químicas e biológicas dos solos orgânicos do que dos solos minerais os mesmos princípios metodológicos são aplicados às análises de ambos (Brady, 1989; Andriessse, 1984; Pereira et al., 2005; Ebeling, 2010). Assim como, os métodos de determinação não consideram o

elevado teor de matéria orgânica, podendo trazer imprecisões ou mesmo distorções dos valores obtidos.

As principais propriedades físicas do solo são relacionadas ao tamanho e arranjo das partículas sólidas e o espaço poroso, bem como o movimento de líquidos e gases através do solo. Em Organossolos estes atributos, em geral, são de difícil determinação analítica e possuem elevada variabilidade espacial, horizontal e vertical, no perfil de solo.

O uso de atributos morfológicos para o estudo da qualidade do solo apresenta vantagens relacionadas, em alguns casos, ao seu baixo custo. Envolve métodos simples e rápidos e com relação direta com os atributos químicos e biológicos do solo.

Por outro lado, nos solos Orgânicos, em função do seu elevado teor de matéria orgânica, esses atributos são definidos de forma distinta das demais classes. Alguns deles são comentados a seguir.

#### a) Cor

A cor do solo é um dos atributos mais simples de se determinar no campo, e reflete os fatores e mecanismos de formação que atuaram ou estão atuando sobre o solo. A cor do Organossolo é predominantemente escura, geralmente com variações entre o preto, bruno escuro e cinzento escuro, sendo comuns as cores neutras: matiz N e croma zero (Conceição, 1989; Mendonça, 1999), resultante do tipo de material vegetal acumulado e do grau de decomposição do material depositado. Pode ser visto na Tabela 1 como a cor do solo auxilia na interpretação dos atributos físicos, químicos e biológicos.

**Tabela 1.** Relação entre a cor dos Organossolos e as características do mesmo.

Cor	Interpretação
Cinza escura com lençol freático elevado.	Redução de ferro e de manganês com possibilidade de toxidez; pobreza em elementos traços; baixa aeração e elevado teor de matéria orgânica.
Escura (preta, preta-amarronzada) com lençol freático muito elevado e com muitos restos vegetais em diferentes estádios de decomposição.	Grande conteúdo de matéria orgânica (Organossolo); se com mosqueados amarelos, no litoral indica presença de pirita ( $\text{FeS}_2$ ), portanto muito enxofre; redução drástica de pH quando drenados; toxidez de $\text{Al}^{3+}$ e $\text{H}^+$ .
Escura (preta, cinza-escuro) até profundidades consideráveis nos solos, em regiões úmidas.	Altos teores de matéria orgânica e alumínio trocável.

Fonte: adaptado de Resende et al. (1988).

#### b) Classe textural

Nos Organossolos a identificação da classe textural é feita por termos como orgânica ou turfosa. Esta identificação difere das classes de textura usadas para materiais de solo minerais, nos quais a textura resulta principalmente da sensação ao tato decorrente dos diferentes teores das frações minerais (areia, silte e argila). Assim, essa classificação é utilizada para avaliar a textura dos materiais orgânicos, quanto à quantidade de fibras, a existência de galhos, as folhas e as raízes, ou predomínio de material humificado, que também proporcionam sensações diferentes ao tato (Rosado, 2004).

### **c) Estrutura**

A estrutura pode apresentar grande variação, onde nos horizontes superficiais pode ocorrer estrutura granular, com tamanhos variados, em solos mais intensamente drenados e com uso agrícola, de grau de desenvolvimento fraco a moderado. Os horizontes subsuperficiais, quando saturados por água, tendem a ser maciços ou maciços fibrosos, quando drenados naturalmente ou artificialmente a estrutura pode ser do tipo blocos ou prismática, com grau variando de moderado a forte (Couto, 1984; Conceição, 1989; Mendonça, 1999; e Sakai & Lepsch, 1984 e 1987).

### **d) Resíduo mínimo**

O atributo resíduo mínimo (RM), descrito em Embrapa (2006), é calculado a partir dos valores de densidade do solo e teor de material mineral. Segundo Lynn et al. (1974) o RM é uma medida que se refere a espessura remanescente de solo por unidade da medida após subsidência máxima, é expresso normalmente pela unidade  $\text{cm cm}^{-1}$ . É usado para avaliar o potencial máximo de subsidência em horizontes ou camadas formadas por material orgânico. O RM possui relação com a densidade do solo, o grau de decomposição da matéria orgânica e o teor de matéria orgânica (Conceição et al., 1999).

### **e) Material mineral**

O material mineral (MM) é obtido pela relação entre o material de solo que permanece após a combustão em mufla e o material seco antes da queima, e expressa a quantidade de material mineral que o solo possui, não quantificando a matéria orgânica (Embrapa, 2006). Geralmente é utilizado para inferir sobre o processo de transformação da matéria orgânica, como descrito por Horak (2009), que relata variações do MM entre 21,2% e 99,8%, sendo os valores mais baixos referentes a horizonte fibricos e os mais altos a horizontes sápricos.

### **f) Densidade da matéria orgânica**

A matéria orgânica possui estrutura aberta com muitos espaços vazios e o interior ocupado por material mineral (Lynn et al., 1974). Assim, o conhecimento da densidade da matéria orgânica (DMO) separadamente da parte mineral fornece informações quanto ao grau de transformação/estabilização da matéria orgânica. Em trabalhos desenvolvidos em Organossolos nas turfeiras da Serra do Espinhaço (área de preservação) foram encontrados valores de DMO variando de 0,03 até 0,44  $\text{Mg m}^{-3}$  (Silva et al., 2009) e 0,004 a 0,20  $\text{Mg m}^{-3}$  (Horak, 2009).

### **g) Densidade do solo**

A densidade do solo é uma característica muito importante em Organossolos, pois os solos orgânicos apresentam peso reduzido em relação ao volume, quando secos. Os valores de densidade do solo (Ds) tendem a ser inferiores a uma unidade e em alguns solos podem ser inferiores a 0,15  $\text{Mg m}^{-3}$  (Andriessse, 1988; Kämpf & Schneider, 1989). No processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica os macroporos colapsam, diminuindo o tamanho dos poros e também a porosidade total (Andriessse, 1988). A densidade do solo varia de 0,1 a 0,7  $\text{Mg m}^{-3}$  para solos orgânicos e de 0,9 a 1,8 para os solos minerais. Tanto a densidade do solo como o resíduo mínimo estão relacionados ao grau de decomposição da matéria orgânica e ao teor de matéria orgânica (Conceição et al., 1999).

### **h) Densidade da partícula**

A densidade da partícula é a relação entre a massa da amostra de solo e o volume ocupado pelas partículas do solo. Considera-se o volume do solo ocupado pelas partículas sem quantificar o espaço poroso. A densidade de partícula é uma característica que varia com a composição das partículas, não sendo afetada por variações no seu tamanho. Nos Organossolos a densidade de partícula é mais baixa que em solos minerais, pois as partículas orgânicas possuem menor peso que as partículas minerais (Fontes, 2010).

### **i) Porosidade**

A porosidade influencia na difusão de gases como no movimento de água no solo. Geralmente, para um solo de textura média com boa agregação o percentual total de poros é em torno de 50%. No entanto, os valores de porosidade podem variar de 25 por cento em solos compactados a 60 por cento em solos orgânicos (Reichardt e Timm, 2004). Os poros são divididos em: macroporos (poros de aeração, são poros entre agregados que permitem a infiltração de água relativamente rápida no perfil) e microporos (poros dentro dos agregados, a água fica retida por capilaridade devido ao pequeno diâmetro desses poros).

### **j) Espaço poroso saturado por água (EPSA)**

É a interação entre a umidade e a aeração do solo, representada pela porcentagem de espaço poroso saturado por água (Davidson et al., 2000), facilitando a percepção da quantidade de água no sistema. É um dos fatores que controlam a produção e difusão dos gases de efeito estufa (GEE) do solo para a atmosfera. De acordo com os valores de EPSA a difusão dos gases do solo é comprometida com valores abaixo de 60% ou superiores a 80%. Sendo, os valores no intervalo de 60 a 80% considerados ideais para produção e difusão de gases, conseqüentemente, os maiores fluxos de emissão GEE são encontrados nesta faixa (Jantalia et al., 2006).

### **l) Umidade gravimétrica**

O conteúdo de água, obtido pelo cálculo da umidade gravimétrica, pode chegar a ser 10 vezes maior do que a massa de matéria seca em Organossolos, de acordo com o grau de decomposição do material orgânico. Quanto menos decomposto, maior a capacidade de retenção de água, como também sua condutividade hidráulica (Andriessse, 1988; Mendonça, 1999; Conceição et al., 1999).

## **2.7 Caracterização dos Atributos Químicos dos Organossolos**

A determinação dos níveis de fertilidade do solo é importante no uso agrícola de todos os solos, mas têm caráter e dificuldades especiais nos Organossolos (Pereira et al., 2005). Nestes solos, com elevada atividade química, várias reações se processam ao mesmo tempo, dentro e entre cada fase (sólida, líquida e gasosa) e entre elas e o ambiente.

A maioria das reações químicas ocorre associada às partículas menores do solo, a chamada fração coloidal. Os colóides do solo, que compreendem as partículas com diâmetro entre um micron e um nanômetro, são compostos principalmente pelas argilas do solo e pela fração mais reativa da matéria orgânica composta pelos ácidos húmicos e fúlvicos (McBride, 1994). Essa reatividade da matéria orgânica (Tabela 2) confere aos Organossolos elevada capacidade de troca catiônica (CTC), que não necessariamente reflete-se em alta fertilidade.

**Tabela 2.** Relação de área superficial específica (ASE) e capacidade de troca de cátions (CTC) de alguns colóides do solo.

<b>Colóides</b>	<b>ASE (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>)</b>	<b>CTC(cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>
Caulinita	7 - 30	0- 1
Óxidos	---	2 - 4
Micas	40 - 150	10 - 40
Vermiculita	500 - 800	100 - 150
Montmorilonita	600 - 800	80 - 150
Matéria orgânica	800 - 900	200 - 300

Fonte: adaptado de McBride (1994).

A seguir, são comentadas algumas propriedades químicas e sua natureza em Organossolos.

#### **a) Complexo sortivo**

A acidez é a concentração de íons hidrogênio em uma solução ou suspensão qualquer. A unidade básica de medida da acidez é o pH, que é o logaritmo inverso da concentração de  $H^+$  na solução ( $pH = \log 1/[H^+]$ ) (Meurer, 2000). A escala de pH varia de zero a 14, sendo o pH 7,0 a neutralidade. Soluções com pH menor que 7,0 são consideradas ácidas e as com pH maior são consideradas básicas. Os Organossolos possuem como material de origem resíduos vegetais, que, na sua decomposição liberam ácidos orgânicos aumentando a concentração de íons  $H^+$  na solução do solo, e como consequência levam a diminuição o valor de pH.

Silva et al. (2008), na Serra de Espinhaço Meridional em Minas Gerais, observaram em Organossolos Háplicos não cultivados, valores de pH que variaram de 2,8 a 4,7. Os autores relacionaram esses valores a decomposição de material recém adicionado ao solo. Além disso, apresentam teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  altos, que de acordo com Lucas (1982) estão fortemente adsorvidos às partículas orgânicas. Portanto, apesar dos elevados teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , esses nutrientes podem não estar disponíveis às plantas. No mesmo trabalho, Silva et al. (2008) observaram que os valores de  $K^+$  foram, em geral baixos, pois esse elemento não faz parte da estrutura do material vegetal e nem integra nenhum composto orgânico estável. Sendo assim ele é lavado do material orgânico logo após a morte das células, e o teor de K na matéria orgânica do solo é extremamente pequeno, pois se restringe ao K na fração orgânica viva (Mesquita, et al., 2009).

Alguns autores têm citado para Organossolos correlação positiva e significativa entre o teor de P, o teor de matéria orgânica e a adsorção do elemento. Novais et al. (2007) apresentam como razão principal o caráter aniônico da matéria orgânica, que através de pontes de cátions, como o Al, Fe e Ca a ela adsorvidos, reteriam o P, formando compostos de composição definida e pouco solúvel, justificando os baixos valores de P disponível.

Quanto a acidez do solo, os Organossolos são geralmente ácidos e possuem elevados teores de  $Al^{3+}$  trocável, características indesejáveis em solos minerais, mas com menor impacto negativo para o crescimento e desenvolvimento das plantas nesses solos, devido à complexação do  $Al^{3+}$  pela matéria orgânica (Ebeling, 2006). Os solos orgânicos apresentam valores de acidez potencial elevados, pois a matéria orgânica é fonte de prótons  $H^+$  e ácidos orgânicos, o que se reflete de modo mais acentuado na acidez extraível do que no pH do solo (Plieski, 2004). Assim, um aspecto importante no manejo dos Organossolos é o conceito da acidez potencial e a sua aplicação para avaliar a fertilidade do solo (Lepsch et al., 1990).

#### **b) Caráter hidrofóbico**

O caráter hidrofóbico refere-se à redução da entrada de água nos agregados do solo, e esse processo é também conhecido como repelência à água (Sullivan, 1990). As substâncias orgânicas podem expressar severa repelência à água e algumas frações orgânicas são consideradas responsáveis pela hidrofobicidade dos solos, tais como: ácidos húmicos, frações alifáticas ou, ainda, resíduos vegetais (Chenu et al., 2000).

### **2.8 Emissões de Gases de Efeito Estufa**

O quarto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, publicado em fevereiro de 2007 e intitulado "Mudança Climática: base científica" apontou que a maior parte do aquecimento do planeta nos últimos 50 anos foi causada por atividades humanas. Dentre as atividades destacam-se a industrialização, o desmatamento, as queimadas, o consumo de combustíveis fósseis e a agricultura. Tendo como resultado final a elevação nas concentrações de gases que causam o efeito estufa, tais como o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano ( $CH_4$ ), o vapor de água, os clorofluorcarbonetos, o óxido nitroso ( $N_2O$ ).

Para Lal et al. (1999) a agricultura é a atividade de influência mais relevante. E os solos agrícolas desempenham um papel muito importante, pois o solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono nos ecossistemas (Bruce et al., 1999), por apresentar, em média, 4,5 vezes mais carbono do que a biota e 3,3 vezes mais que a atmosfera (Lal, 2004). Porém, com os diferentes sistemas de uso das terras o carbono é liberado pelo solo depois das frequentes intervenções de preparo e cultivo agrícola. Este manejo ocasiona o rompimento na estabilidade do carbono, aumentando a velocidade de mineralização da matéria orgânica e como consequência, liberação do carbono presente (Woomer et al., 2000).

As mudanças no uso da terra para agricultura e silvicultura alteraram os fluxos de carbono nos ecossistemas, sendo relatadas por Armentano e Menges (1986) perdas de 10-20 Mgt C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para produção de culturas agrícolas em áreas úmidas drenadas na Europa e América do Norte. Kasimir-Klemedtsson et al. (1997) citam que práticas agrícolas em solos orgânicos podem levar a um aumento líquido nas emissões de GEEs devido ao grande fluxo de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O, entretanto a entrada de O<sub>2</sub> pela drenagem leva a redução nas emissões de CH<sub>4</sub>.

Estas alterações nos fluxos de gases são dependentes das características do solo como o teor de MO, disponibilidade de nutrientes (principalmente o N), tipo de vegetação, cobertura do solo, textura, drenagem, umidade e temperatura (Weitz et al., 2001; Dobbie & Smith, 2003; Siqueira Neto, 2006) e do manejo adotado (Zuchello, 2010).

Nos Organossolos a mineralização da matéria orgânica e a liberação de gases assumem maior potencial de impacto, devido ao elevado teor de matéria orgânica e, principalmente, da sua labilidade, somado a práticas de drenagem e manejo inadequado. Valladares et al. (2008) afirmam que quanto mais espessa for a camada de material orgânico maior será seu potencial de subsidência, assim o potencial de emissão de gases de efeito estufa será ainda maior.

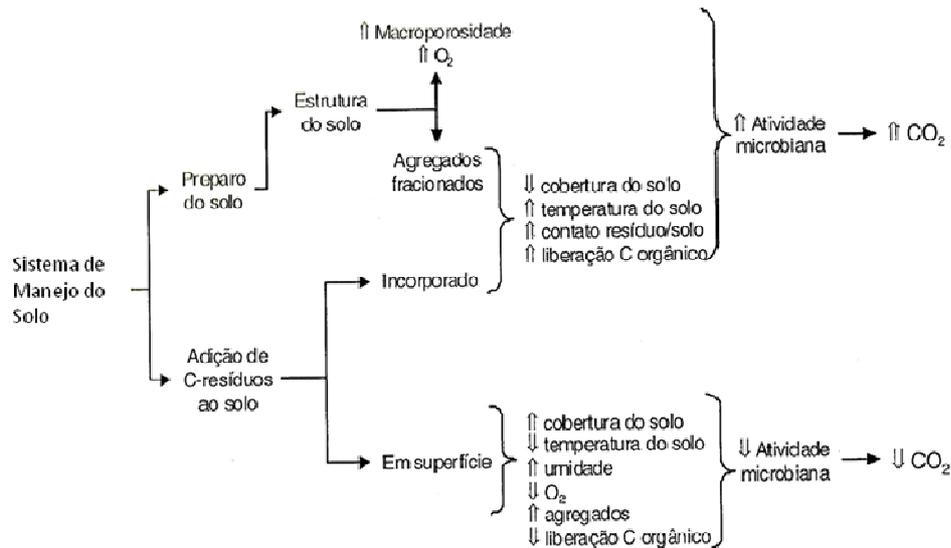
### **2.8.1 Emissão de CO<sub>2</sub>**

De todo o C presente solo, parte considerável encontra-se na forma de matéria orgânica do solo (MOS), portanto, o solo é importante reservatório natural de carbono. Estima-se que nos primeiros 100 cm de profundidade, em termos globais, estão armazenados 2200 Pg C, correspondendo a aproximadamente 4 vezes o compartimento de C da vegetação (560 Pg) e 3 vezes o C da atmosfera (750 Pg); o C armazenado no solo é constituído pelo C orgânico (1500 Pg C) e mineral (700 Pg C) (Batjes, 1996).

Entretanto, o material orgânico no solo é facilmente decomposto quando se realizam práticas de manejo não conservacionistas, agravando a liberação de gases como o CO<sub>2</sub> (Cerri et al., 2007). Por outro lado, o aumento do estoque de MOS é lento e necessita de manejo adequado do solo, principalmente em regiões de clima tropical, onde a taxa de decomposição é mais acentuada devido às altas temperaturas e umidade do solo (Six et al., 2002). Nesse sentido, estimativas indicam que para elevar o teor de MOS de 3 para 4 %, em um sistema que recebe 2 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo por ano, são necessários 100 anos aproximadamente (Moreira & Siqueira, 2006).

A magnitude das perdas de MOS depende do reservatório de C (quantidade, qualidade, disponibilidade), da natureza do solo, dos fatores climáticos regionais e dos sistemas de manejo (Oldeman, 1994; Leemans, 1999). Alguns fatores determinam a dinâmica do carbono no sistema solo – atmosfera, sendo os principais: a temperatura, a umidade, a estrutura do solo e os microorganismos. E, dependendo do tipo de práticas de manejo adotadas o solo pode atuar como fonte de carbono, quando as emissões de CO<sub>2</sub> excedem a assimilação na forma de fotossíntese ou dreno, quando o acúmulo de C predomina sobre a liberação. Tais interações, entre os fatores controladores da ciclagem de C do sistema solo – atmosfera, que ocorrem em maior ou menor intensidade, são retratadas na Figura 5.

Em agrossistemas grande parte do fluxo de CO<sub>2</sub> pode ser gerado pela respiração das raízes, sendo parte da fisiologia do vegetal, principalmente em condições de estresse térmico, como nos ambientes tropicais. Na respiração as plantas absorvem O<sub>2</sub> do ar atmosférico e desprendem CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Contudo os valores de CO<sub>2</sub> emitidos na respiração radicular são menores que o fluxo emitido pela oxidação do carbono por microorganismos. Melillo et al. (2002) atribuem à respiração radicular pelo menos 20% do aumento na concentração de CO<sub>2</sub> enquanto que os 80% restantes são oriundos da atividade biológica do solo.



**Figura 5.** Relações entre os sistemas de manejo e os fatores controladores de emissão de CO<sub>2</sub> no sistema solos – atmosfera (Santos et al., 2008).

Porém, em estudos avaliando o fluxo de CO<sub>2</sub> em solos de remanescente de floresta atlântica no sudeste do Brasil, usando câmaras estáticas fechadas, Mello e Goreau (1998) afirmam que 44% dos fluxos de CO<sub>2</sub> provenientes do solo, são emissões provenientes da respiração de raízes e da atividade de microorganismos associados às mesmas (bactérias e fungos). No entanto, Organossolos com características sápricas tendem a ser mais resistentes aos processos de degradação microbiológica em relação aos fibricos, apresentando diferentes taxas de decomposição em função do tempo (Pereira et al., 2005).

Em áreas alagadas o processo de decomposição da MOS ocorre na forma anaeróbica, tendo com produto outros compostos naturais principalmente o CH<sub>4</sub>. Porém as reações químicas com o OH constituem o principal sumidouro deste gás, sendo os solos de terra firme os que menos o absorvem (Carmo et al., 2006). Já em Organossolos utilizados na produção agrícola, geralmente após a drenagem, a decomposição da MOS ocorre principalmente de forma aeróbica, gerando CO<sub>2</sub> que, posteriormente, por difusão é liberado para a atmosfera (Paul e Clark, 1996). Para Fanning & Fanning (1989), esse processo de transformação e estabilização da MOS pode ser resumido da seguinte maneira:



Em revisão de literatura sobre carbono no solo e mudanças climáticas, Machado (2005) reforça que a classe dos Organossolos merece atenção especial devido ao elevado teor de MO, e destaca que estes solos são muito suscetíveis a grandes perdas de carbono orgânico pelas mudanças no regime de drenagem ou temperatura do solo. Somada a utilização de práticas de manejo com frequente revolvimento do solo o metabolismo da microbiota é aumentado, consumindo rapidamente o material orgânico.

## 2.8.2 Emissão de N<sub>2</sub>O

O N<sub>2</sub>O é a segunda forma nitrogenada mais abundante na atmosfera e é altamente estável, possuindo tempo de residência de cerca de 110 a 150 anos (Bange et al., 1996). Sua concentração vem aumentando a uma taxa de 0,2 a 0,3% ao ano, principalmente pela queima da biomassa e dos processos de nitrificação e desnitrificação no solo (Freney, 1997), acelerados pelas atividades humanas (CAST, 2004). Comparado com o CO<sub>2</sub>, o N<sub>2</sub>O apresenta potencial de aquecimento 296 vezes maior, enquanto que o CH<sub>4</sub> apresenta valor igual a 23 (Escobar, 2008), mostrando a importância do monitoramento desses gases na atmosfera.

Duxbury (1995) relata que os solos são a maior fonte de N<sub>2</sub>O, sendo as emissões antrópicas associadas à adição de fertilizantes e ao aumento na mineralização do N orgânico do solo em sistemas agrícolas. De acordo com Bouwman (1990), 90% dos fluxos de N<sub>2</sub>O são provenientes dos solos agrícolas. Mais recentemente o IPCC (2007) relacionou a produção de N<sub>2</sub>O no solo a dois processos biológicos, a nitrificação e a desnitrificação, destacando que juntos estes processos representam emissão de 0,3 a 3% do N aplicado na forma de fertilizantes, adubos orgânicos e resíduos culturais. Carmo et al. (2005) relacionam a emissão de N<sub>2</sub>O ao vasto uso de fertilizantes nitrogenados e ao processo de mineralização dos resíduos orgânicos adicionados aos sistemas agrícolas. Bremner et al. (1981), Jantalia et al. (2006) e Zuchello (2010) igualmente relatam que tanto a nitrificação como a desnitrificação atuam como fonte de N<sub>2</sub>O, e ambos dependem da disponibilidade de O<sub>2</sub> no sistema, porém em condições distintas. Para que a nitrificação possa ocorrer é necessário que o solo forneça condições de oxidação/aeração, pois a partir da oxidação do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ou amônia (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) é formado o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). As condições de aeração necessárias são usualmente encontradas em áreas de Organossolos cultivados. Nykanen et al. (1995) mostraram que a agricultura em solos de turfa pode contribuir significativamente para emissão de N<sub>2</sub>O.

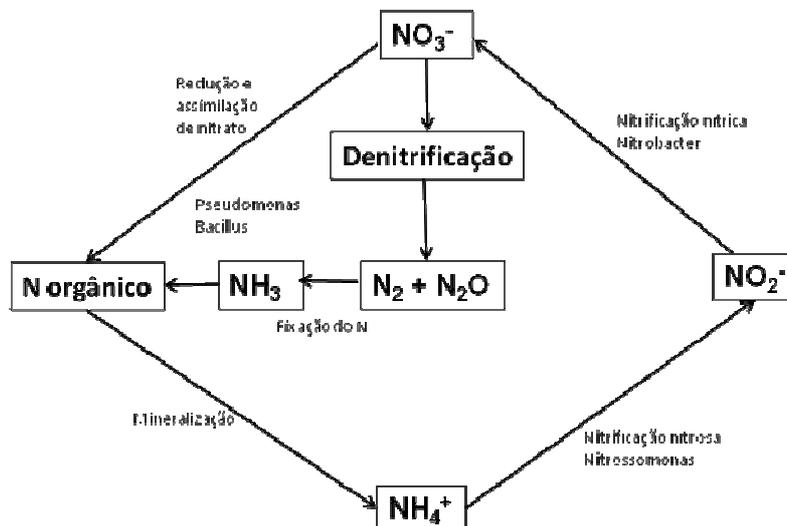
O processo de nitrificação se divide em duas etapas, primeiro o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é oxidado a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> pelos principais gêneros de bactérias, conhecidas como Nitrossomonas, e depois o NO<sub>2</sub><sup>-</sup> é oxidado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por bactérias do gênero Nitrobacter. Da oxidação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, a NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ocorre à formação de produtos intermediários, como a hidroxilamida (NH<sub>2</sub>OH) que se decompõe em N<sub>2</sub>O, principalmente, sob condições ácidas, sendo essa reação chamada de desnitrificação química (Yamaguchi et al., 1994). Dependendo das condições ambientais, os produtos intermediários podem se acumular e eventualmente ocorrer à liberação de N<sub>2</sub>O para a atmosfera. Acredita-se, que o acúmulo de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> no solo seja o fator determinante da produção de N<sub>2</sub>O por nitrificação, o que tem sido indicado como mecanismo de defesa para minimizar o acúmulo intracelular de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (Ritchie & Nicholas, 1972). O processo de desnitrificação é o último passo no ciclo do nitrogênio, sendo a maneira pelo qual o N mineral é reduzido a N<sub>2</sub> e então retornado à atmosfera, em condições anaeróbias. No processo, os óxidos de nitrogênio, nitrito e nitrato, são reduzidos as formas gasosas (NO, N<sub>2</sub>O ou N<sub>2</sub>), sendo o N<sub>2</sub>O o intermediário obrigatório (Firestone e Davidson, 1989). Essa redução ocorre através da ação de bactérias, tais como Pseudomonas e Clostridium, que utilizam nitratos como receptor final de elétrons em alternativa ao oxigênio para a oxidação de compostos orgânicos (respiração anaeróbia) e por esse processo uma parte dos nitratos do solo é retornada à atmosfera na forma de N<sub>2</sub>, fechando assim o ciclo e equilibrando a taxa de nitrato no solo.

Várias pesquisas, entre elas Jantalia et al. (2006) e Zuchello (2010), têm destacado os fatores que controlam os processos de nitrificação e desnitrificação em áreas agrícolas, e a interação desses regula as quantidades e as taxas do produto final formado (Firestone e Davidson, 1989). Os principais fatores são a estrutura do solo, o teor de água (dado pelo EPSA), a temperatura e as populações microbianas disponíveis. A interação dos mesmos compromete não exclusivamente a produção, mas também a difusão do N<sub>2</sub>O no perfil do solo.

A desnitrificação pode ocorrer paralelamente à nitrificação em sistemas parcialmente aerados (Figura 6). O que se deve à formação de zonas pobres em oxigênio, anóxicas, no

interior dos agregados e com o aporte de nitrato é favorecida a desnitrificação. Além disso, pode ocorrer em épocas do ano onde a drenagem não é suficiente sendo a disponibilidade de oxigênio escassa e a de nitrato não (Ferreira, 2000). Porém o comportamento do  $N_2O$  nas camadas subsuperficiais do solo ainda não está bem entendido (Yoh et al., 1997).

Em solos com valores intermediários de umidade, EPSA entre 40-60%, as emissões de  $N_2O$  como resultado da nitrificação podem ser substanciais (Linn e Doran, 1984). Porém, em solos mais úmidos, EPSA superior a 80%, onde a aeração é restrita, a desnitrificação é geralmente a origem da produção de  $N_2O$  (Smith 1990). As maiores emissões de  $N_2O$  são geralmente associadas a valores de EPSA entre 60 e 80%, onde ocorrem condições favoráveis a desnitrificação e também condições para formação de  $NO_3^-$  (Davidson et al., 2000; Smith, 2001). Para Yoh et al. (1997) também existe a produção de  $N_2O$  por águas de drenagem e por águas do lençol freático, principalmente em condições de elevada concentração de  $NO_3^-$  dissolvido e em solos onde grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados são aplicadas. Watson et al. (1990) afirmam que os fluxos emitidos por águas de drenagem e águas do lençol são comparáveis ao das terras cultivadas, conferindo aos solos orgânicos em ambiente hidromórfico potencial ainda maior de emissão de  $N_2O$ .



**Figura 6.** Processos de nitrificação e desnitrificação (Adaptado de Fonseca e Silva, 2010).

Takakai et al. (2006) avaliaram o fluxo de óxido nitroso ( $N_2O$ ) em solos de turfa na Indonésia (clima tropical), em áreas com diferentes usos: uma área de pastagem, três áreas de cultivo, uma floresta natural, uma floresta queimada e uma floresta. Apenas as áreas de cultivo foram adubadas ( $665-1278 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). A média anual das emissões de  $N_2O$  a partir de culturas agrícolas variou de 21 a  $131 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  kg, em 2002-2003, e de 52 a  $259 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , em 2003-2004, e os valores foram maiores do que as emissões provenientes dos demais usos do solo. Esses resultados sugerem que mudanças no uso da terra de florestas para a agricultura aumentam a produção de  $N_2O$ .

O cultivo nas turfeiras tropicais tem sido considerado grande fonte de emissões de  $N_2O$  (IPCC, 2000), sendo as emissões diretas a partir do cultivo em solos orgânicos estimadas em  $16 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , pela mineralização do nitrogênio orgânico do solo. No entanto, este valor foi calculado a partir de dados de emissão obtidos apenas em regiões boreais e temperadas. Os dados de emissões de  $N_2O$  de turfeiras tropicais são escassos (Hadi et al., 2000; Inubushi et al., 2003; Melling et al., 2005) e existe grande incerteza na estimativa de emissão de  $N_2O$ . Além disso, os fatores que controlam a emissão de  $N_2O$  nessas regiões não são bem compreendidos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e Caracterização das Áreas de Estudo

Foram selecionadas três áreas de Organossolos em ambiente de várzea no Estado do Rio de Janeiro com manejos e cobertura dos solos distintos. Foram utilizados os seguintes critérios de seleção para a escolha das áreas: a existência do Organossolo com o mesmo ambiente original de formação (várzea), e estágios distintos de alterações pela drenagem e manejos agrícolas diferenciados.

A primeira área encontra-se na Fazenda da Saudade, à margem da BR 101, no município de Macaé. Esta área foi utilizada com lavouras anuais intensivamente e, nos últimos 8 anos (desde 2001), foi implantada pastagem consorciada com gramíneas e leguminosas para pecuária de corte em sistema semi-extensivo. Atualmente a área é coberta por pastagem de *Brachiaria brizantha*, a qual apresenta alta capacidade de adaptação. Essa forrageira segundo a EMBRAPA (1985) e Alcântara (1987) apresenta bom valor nutritivo, menor estacionalidade na produção e melhor relação folha/haste, alcançando elevados índices agronômicos e zootécnicos quando comparada a outras variedades. O nível do lençol freático é controlado por canais e diques nos rios Macaé e São Pedro que cortam a propriedade e é mantido mais elevado que nas demais áreas, aproximadamente 60 cm da superfície.

A segunda área de Organossolo encontra-se no lado oposto da BR 101 distante aproximadamente 500 metros da primeira e vem sendo utilizada para a produção de sementes de milho (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*), em sistema de rotação de culturas, em projeto com parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro - Pesagro-RJ. A propriedade é intensamente mecanizada, sendo utilizado preparo convencional do solo, que consiste no revolvimento das camadas superficiais através da aração e gradagem. Quanto ao histórico da área não foi possível obter informações a respeito do tempo de cultivo. Porém, em trabalho desenvolvido nesta mesma área Manzato (1990) relatou o plantio de arroz em monocultura, não se referindo a rotação.

A drenagem é semelhante à primeira área, porém o nível do lençol freático é mantido mais baixo, por drenos mais profundos (aproximadamente 1,5 metros) e em maior número, e a propriedade é recortada por vários canais de drenagem profundos. O controle do lençol também é feito por diques nos rios Macaé e São Pedro. Essa área foi utilizada como referência de maior intensidade de alterações por manejo agrícola e drenagem.

A terceira área está localizada em Santa Cruz, Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, e vem sendo cultivada com mandioca (*Manihot esculenta*) desde a década de 80 e a partir dos anos 90 com coco (*Cocos nucifera*). Para a implantação das culturas é feito o preparo do solo, a terra é arada e gradeada, incorporando calcáreo dolomítico, em torno de duas toneladas por hectare. O plantio da mandioca é feito em canteiros altos (camalhões) de aproximadamente 30 cm, que são preparados com trator. Após quinze dias em repouso do solo, as manivas de mandioca são plantadas e é aplicado herbicida para controle de plantas invasoras (Mendonça, 1999). A profundidade dos drenos é de cerca de 80 cm (informação pessoal), inferior àquela da área da Pesagro-Rio, em Macaé.

Essa área vem sendo cultivada há mais tempo que as demais, pois as terras foram objeto de projeto de colonização para imigrantes japoneses na década de 40, quando a macrodrenagem da baixada de Santa Cruz e Itaguaí foi realizada. Os japoneses receberam incentivos do governo para implantar projetos de olericultura e fruticultura. Nas décadas subsequentes, em decorrência da redução da fertilidade natural dos solos e degradação, resultando em safras seguidas de produtividade baixa a atividade agrícola perdeu força e hoje a região não é mais pólo de olericultura. Porém, se tornou relevante no cultivo de mandioca,

cultura considerada rústica e com ampla capacidade de adaptação a condições variadas de clima e solo, e mais recente, pela expansão de lavouras de coco. Nesta área foram encontrados fragmentos de conchas marinhas, localizadas em torno de 2 metros de profundidade, indicando a influência do mar na região em tempo geológico anterior.

Para explicação de alguns dados díspares entre as duas coletas (primeira e segunda), destaca-se a ocorrência de grande cheia na região de Santa Cruz (RJ), no ano de 2010, onde o Rio Guandu transbordou alagando por semanas a área de estudo com mandioca. O proprietário perdeu parte da safra de mandioca, que não resistiu à sequência de dias sem aeração. Após a enchente o solo foi novamente mecanizado, com aração, gradagem, encanteiramento e adição de fertilizantes (não prevista no cronograma do estudo e não informada com antecedência). O proprietário não soube informar com exatidão os insumos aplicados ou as doses utilizadas. Essa adubação fez com que a área de mandioca destoasse das demais, para alguns dos atributos químicos avaliados na segunda coleta, em especial os teores de K e P.

Os perfis de Organossolos foram classificados nas áreas 1 e 2 como Organossolo Háplico e na área 3 como Organossolo Tiomórfico (Embrapa, 2006). No entanto, neste último a profundidade dos drenos ou a amostragem do solo não alcançou a camada tiomórfica, não sendo, portanto perceptível às implicações resultantes de tal característica nas propriedades químicas do solo. A descrição geral e morfologia dos perfis encontram-se em anexo.

### 3.2 Métodos de Amostragem

Os perfis de Organossolos foram selecionados em função do potencial grau de humificação da matéria orgânica do solo e diferenciados quanto a intensidade dos processos de subsidência, decorrente da drenagem artificial das áreas. Para isso foi feito levantamento prévio da classe de solo, vegetação, relevo e histórico mínimo de uso da área (Tabela 3).

**Tabela 3.** Diferenciação das áreas de estudo em função das características utilizadas para seleção.

<b>Lavoura</b>	<b>Uso</b>	<b>Tempo</b>	<b>Humificação</b>	<b>Drenagem</b>
Pastagem	+	++	Sáprico	+
Feijão	+++	+	Sáprico	+++
Mandioca	++	+++	Sáprico	++

# O sinal de + indica a intensidade dos fatores.

As coletas de solo nas áreas 1 e 2 foram realizadas no mês de abril e na área 3 no mês de maio, nos anos de 2009 e 2010. O material de solo foi descrito quanto à morfologia, coletado e caracterizado segundo as normas preconizadas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (Santos et al., 2005).

Em cada uma das áreas foram selecionadas três subáreas de amostragem. Para a escolha dos locais foi avaliada a homogeneidade e representatividade dos pontos perante o ambiente de ocorrência da classe de solo e o uso atual. Em cada ponto de amostragem foram abertas mini-trincheiras de pouco mais de 40 cm de profundidade, para coleta de amostras nos intervalos de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm para as análises químicas e físico-hídricas. Em cada seção de solo foram coletadas amostras deformadas e indeformadas.

As amostras de terra foram secadas parcialmente ao ar, mantendo a umidade suficiente para evitar ressecamento total do material de solo, e então destorroadas e passadas por peneira com malha de 2,0 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). Os materiais de solo foram caracterizados quanto às propriedades físicas e químicas segundo o Manual de Métodos

de Análises de Solos (Embrapa, 1997), nos laboratórios de Gênese e Classificação do Solo, da UFRRJ - IA/DS e no laboratório de Química do Solo da Embrapa Solos.

Amostras na forma de torrões foram coletadas em cada área e profundidade e avaliadas quanto à distribuição das classes de agregados, por meio do tamisamento via úmido segundo o método de Yoder (1936).

### **3.3 Caracterização Analítica**

#### **3.3.1 Análises Químicas**

##### **a) Cálcio e Magnésio trocáveis**

Os cátions trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na proporção de 1:10, por complexometria em presença do coquetel tampão. O Ca<sup>+2</sup> foi determinado em presença de KOH a 10%, visando elevar o pH no qual o magnésio se torna insolúvel. Ambos foram titulados com EDTA 0,0125 mol L<sup>-1</sup> e o indicador usado para determinar o ponto em que termina a reação foi o negro de eriocromo. O Mg<sup>+2</sup> foi obtido por diferença.

##### **b) Sódio e Potássio**

Foram extraídos com solução duplo ácido (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) na proporção solo-solução 1:10 e determinados por fotometria de chama.

##### **c) Fósforo**

Foi extraído com solução de bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, recomendada para solos com elevados teores de matéria orgânica, e os valores de P extraídos foram quantificados em espectrofotômetro, após redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico em presença de sal de bismuto.

##### **d) Alumínio trocável**

Foi extraído com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na proporção de 1:10 e determinado por meio de titulação ácido-base, com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> e fenolftaleína como indicador.

##### **e) pH**

Determinado com potenciômetro em suspensão solo- líquido de 1:2,5, com tempo de contato de cerca de uma hora e agitação da suspensão antes da leitura, foi medido o pH do solo em solução de água, CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> e KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

Para todas as análises após a extração foi feita a filtração simples da solução. A mistura de solução extratora e solo foi vertida em malha de filtração rápida (apenas para retenção das partículas sólidas), tendo como finalidade a retirada do material em suspensão. Esse material, se não fosse retirado, dificultaria a aferição do volume durante a pipetagem e, posteriormente, poderia alterar os tons de viragem na titulação da solução, aumentando a chance de erro nas análises.

#### **3.3.2 Determinação do teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo**

O carbono e o nitrogênio totais nas amostras de solo foram determinados pelo método de combustão a seco em analisador elementar CHN (TruSpec Carbon, Hydrogen, Nitrogen Elemental. Para a calibração do aparelho foi utilizado padrão indicado pela LECO, o padrão adquirido foi descrito como 'Acetanilide' (C<sub>8</sub>H<sub>9</sub>NO), part 501-053, lot 1010, com valores de carbono 71,09%, hidrogênio 6,71%, nitrogênio 10,36%.

As amostras de terra foram maceradas até pulverização e peneiradas até a obtenção de um pó semelhante ao talco, em uma adaptação da metodologia de Smith & Myung (1990) que utilizam moinho de rolagem para pulverização das amostras. Para a determinação do teor de carbono foi pesado 0,1g de solo em balança analítica acoplada ao aparelho, em recipiente

próprio do equipamento CHN para queima. Esses cadinhos de estanho foram fechados e modelados na forma de gota, em tamanho suficiente para passar pelo carrossel do aparelho.

A determinação de C também foi realizada segundo Embrapa (1997) e a de N por Tedesco et al. (1995). Os estoques foram calculados a partir dos teores de C e N nas diferentes profundidades, usando duas equações, identificadas como clássica (Embrapa, 1997) e a com correção da massa de solo (Sisti et al. 2004):

**- Equação clássica**

$$E_S = D_S * P * X$$

Onde,

$E_S$  é o estoque total de carbono/ nitrogênio em  $\text{mg ha}^{-1}$ ,

$D_S$  é a densidade do solo em  $\text{Mg cm}^{-3}$ ,

$P$  é a espessura coletada em cm,

$X$  é o teor de carbono/ nitrogênio em  $\text{Mg ha}^{-1}$ ,

**- Correção da massa de solo**

$$E_S = \sum_{i=1}^{n-1} X_{Ti} + \left[ M_{Tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] X_{Tn}$$

Onde,

$E_S$  é o estoque total de carbono/ nitrogênio em  $\text{mg ha}^{-1}$ ,

$\sum_{i=1}^{n-1} X_{Ti}$  é a soma do carbono/ nitrogênio da primeira (superfície) a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado ( $\text{mg ha}^{-1}$ ),

$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$  é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ),

$\sum_{i=1}^n M_{Si}$  é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento referência ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ),

$M_{Tn}$  é a massa do solo na última camada do perfil do solo no tratamento avaliado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), e

$X_{Tn}$  é a concentração de carbono/ nitrogênio na última camada do perfil do tratamento avaliado ( $\text{Mg C Mg}^{-1}$  de solo).

No anexo é apresentado exemplo da resolução das equações usadas para quantificação do estoque de C e N (Anexo II).

### 3.3.3 Determinação da matéria orgânica do solo (MOS)

#### a) Método da mufla

A matéria orgânica foi determinada pelo método quantitativo de combustão usando a mufla, modificado de Embrapa (2006). O método consistiu em pesar 10g de solo, destorroado e peneirado (TFSA), em balança analítica de precisão, como no método da Embrapa (1997). Esse material foi previamente seco em estufa a 105°C por 24h ou até atingir peso constante. A seguir foi colocado em forno mufla permanecendo por 6 h a temperatura de 600°C. Após desligado, o material foi mantido no interior da mufla até esfriar totalmente, depois foi levado mais uma vez a estufa e permaneceu por 24h a 105°C e então a amostra foi novamente pesada. O conteúdo de matéria orgânica foi determinado por diferença de massa em relação à amostra seca em estufa, sendo o material perdido por queima quantificado como correspondente à matéria orgânica do solo (MOS).

#### **b) Material Mineral (MM)**

O material mineral ou conteúdo mineral foi calculado pela fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Conteúdo mineral} &= \% \text{ material mineral (MM)} - \text{MM} \\ &= \text{peso seco a } 400^\circ\text{C (24h)}^*/\text{peso seco a } 105^\circ\text{C (24h)} \times 100 \end{aligned}$$

\* pode ser feito a 600°C (6h)

#### **c) Densidade da Matéria Orgânica (DMO)**

A densidade da matéria orgânica foi calculada segundo a relação:

$$\text{Dmo} = \text{DS} - \text{Ds} \times (\% \text{ massa MM}/100)$$

Onde,

MM é o material mineral, com base na premissa de que o material orgânico tem estrutura aberta cujos interstícios são ocupados pelo material mineral (Lyn et al, 1974).

#### **a) Resíduo Mínimo (RM)**

O resíduo mínimo representa estimativa da proporção entre a espessura residual e a original, sendo calculado de acordo com a equação abaixo.

$$\text{RM} = (\text{Dsi} - \text{Dmo})/\text{Dsr};$$

Onde,

Dsi = DS inicial

Dsr= para os solos estudados considerou-se o valor de Dsr = 1,5 g/cm<sup>3</sup>

#### **e) Fracionamento químico das substâncias húmicas**

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi feito em triplicata, sendo usado o método de extração e fracionamento quantitativo das substâncias húmicas pela técnica de solubilidade diferencial, estabelecido pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, com base em Kononova (1966) e Dabin (1976), com adaptações de Benites et al. (2003).

Para a extração do extrato alcalino – EA (solução que contém ácidos húmicos e fúlvicos) foi usada solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> na relação solo: extrator de 1:10 p/v, utilizando-se 1,0 g de solo (0,5 g para amostras com teor de carbono total superior a 100 g kg<sup>-1</sup>) e tempo de contato de 24 h. A separação entre o extrato alcalino e o resíduo foi feita por centrifugação a 5.000 g (fcr<sub>média</sub>) por 30 min. Foram realizadas três lavagens do resíduo com a mesma solução, adicionando-se os extratos aos anteriormente reservados. O resíduo foi recolhido e reservado para a determinação de carbono da fração húmica (C-HUM). O extrato alcalino teve o pH ajustado para 1 (± 0,1) com solução aquosa de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20% e foi decantado por 18 h. O H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> foi utilizado em vez de HCl, para evitar interferências do ânion cloreto no processo de determinação do carbono nas frações por métodos titulométricos.

O precipitado, fração ácido húmico (FAH), foi separado da fração solúvel por centrifugação a 5.000 g (fcr<sub>média</sub>) por 5 min, rediluído em solução NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e seu volume aferido para 50 mL, com água destilada. A porção solúvel no extrato acidificado, fração ácido fúlvico (FAF), teve seu volume aferido para 50 mL, utilizando-se água destilada.

A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácido fúlvico (C-FAF) e ácido húmico (C-FAH) foi feita em alíquotas de 5 mL de extrato e 2,5 mL de dicromato de potássio, mantendo-se a relação 1:2 solução:ácido sulfúrico. As concentrações de dicromato de potássio utilizadas foram de 0,5 e 1,0 mol.L<sup>-1</sup> para as frações ácido fúlvico e ácido húmico, respectivamente, calculadas de forma que 10 a 75% do oxidante fosse consumido na reação, mantendo a titulação dentro da faixa linear de correlação com o teor de carbono.

Foram quantificados os teores de carbono orgânico das frações: ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM). A partir destes dados foi calculada a relação C-FAH/C-FAF (Benites et al., 2003).

### **3.3.4 Coleta e análise de amostras de gases do solo**

As amostras de gases para a determinação das taxas de emissão de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes do solo foram obtidas em duas épocas do ano (seca e chuvosa). Com a variação de época de coleta buscou-se avaliar efeitos de fatores climáticos na emissão dos gases.

Por razões operacionais pela distância entre as áreas, as coletas de gases foram realizadas em épocas distintas nas três áreas, sendo na primeira e segunda área, no mês de outubro em 2009 e 2010, e na terceira área, no mês de dezembro em 2009 e 2010.

#### **a) Coleta e quantificação de N<sub>2</sub>O**

Para a amostragem do fluxo de N<sub>2</sub>O foram utilizadas seis câmaras, segundo a concepção de Bowden et al. (1990). Essas câmaras consistem em caixas de metal de 30x25cm inseridas no solo até a profundidade de 5 cm. O espaçamento entre elas foi de cerca de 3m, conservando-se a cobertura do solo, respectivamente: pastagem, resíduos culturais e liteira.

As câmaras foram instaladas no solo a pelo menos 24 horas de antecedência da primeira coleta. Esse tempo entre a instalação e a coleta se faz necessário para diminuir possível erro em função de alterações na estrutura do solo pela inserção da câmara, minimizando assim a interferência pela colocação da câmara. Para as coletas, foram colocadas tampas sobre as bases das caixas, de maneira a isolar o ambiente interno do externo, e após tempo de 30 minutos foram feitas as coletas das amostras de gases.

As amostras de gases do solo foram tomadas do interior das câmaras através de orifício sobre a tampa das câmaras. Os gases foram coletados com auxílio de vacuômetro manual e acondicionados em frascos de vidro previamente fechados, com graxa de silicone e borracha de vedação, recebendo os frascos lacres de metal de acordo com Bowden et al. (1990). Para obter valores de referência para o cálculo de fluxo de óxido nitroso, foram coletadas seis amostras de gases da atmosfera. Foi feita ainda coleta de amostra de solo na profundidade de 0 – 10 cm para determinar o % EPSA (espaço poroso saturado por água) e foi medida a temperatura, no solo e no interior das câmaras, após os 30 minutos do fechamento. Após as coletas de gases e medição de temperatura as câmaras eram reabertas. As coletas de gases, de amostras de solo e a medição da temperatura foram feitas uma vez ao dia, por quatro dias consecutivos e sempre no período da manhã. O horário de coleta foi uniforme, em torno das 8:00 h, considerado como o melhor para coleta de amostras de gases do solo (Flores et al., 2008).

Os vidros contendo os gases foram levados ao Laboratório de Cromatografia Gasosa da Embrapa Agrobiologia. As concentrações de N<sub>2</sub>O nas amostras foram quantificadas por cromatografia gasosa em coluna empacotada a 280°C. Os fluxos foram calculados a partir da alteração linear da concentração dos gases com o tempo de incubação. O resultado final do fluxo de N-N<sub>2</sub>O foi expresso em kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

#### **b) Coleta e quantificação de CO<sub>2</sub>**

Para determinar o fluxo de CO<sub>2</sub> foi utilizado o equipamento portátil IRGA (Infra Red Gás Analyser), que consiste em uma câmara fechada ligada a uma central onde é processada a

medição. Ao iniciar as análises o aparelho faz uma calibração para o valor a ser tomado como concentração de C-inicial, que neste caso foi o ar atmosférico. Após a checagem, a câmara fechada foi colocada em contato com o solo. O tempo de permanência sobre o solo foi indicado pelo próprio aparelho, sendo uma função do teor de CO<sub>2</sub> que o solo emite. O EGM-4 (Environmental Gas Monitor) forneceu leitura imediata da concentração de CO<sub>2</sub> dentro da câmara. O efluxo foi calculado pela taxa de mudança da concentração, com base na primeira lei de Fick, de acordo com a equação abaixo fornecida pelo manual do equipamento (PP Systems, 2010):

$$F = \rho \left( \frac{V}{A} \right) \left( \frac{dC}{dt} \right)$$

Onde:

F - Efluxo de CO<sub>2</sub> emitido na superfície do solo (mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), ρ é a densidade do ar ajustada à temperatura do ar no momento da amostragem (mol.m<sup>-3</sup>),

V - Volume interno da câmara acima da superfície do solo (m<sup>-3</sup>),

A - Área superficial do solo encoberta pela câmara (m<sup>-2</sup>), e

dC/dt - Variação da concentração do gás em função do tempo (mol s<sup>-1</sup>), ou seja, a declividade da curva de variação de concentração do gás em função do tempo.

As amostras de CO<sub>2</sub> foram coletadas uma vez ao dia, por quatro dias consecutivos no período da manhã e após a coleta de N<sub>2</sub>O. Foram feitas seis repetições por dia em cada área e em cada repetição foi tomada uma medida de referência.

### 3.3.5 Indicadores físicos

#### a) Densidade do solo (Ds)

Para a avaliação da densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas das seções de solo, nas paredes das mini-trincheiras e com o anel de Kopecky, segundo Embrapa (1997). Foram feitas duas coletas e em épocas distintas, com três repetições em cada área. Após as coletas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório. Para determinar a densidade do solo, o material de solo contido no anel foi colocado em estufa a 105°C durante 24h ou até peso constante e foram pesadas novamente. Com os valores de massa de solo e volume do anel foi calculada a Ds pela seguinte equação:

$$Ds = \frac{MS}{VT}$$

Onde:

Ds - Densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>), MS - Massa seca da amostra (kg) e VT - Volume total do anel de Kopecky (dm<sup>3</sup>)

#### b) Densidade das partículas (Dp) e porosidade (VTP).

Para determinar a densidade das partículas (kg dm<sup>-3</sup>) foi usado o método do balão volumétrico (Embrapa, 1997), que consiste em determinar a relação entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas. Para essa análise foram pesados 20g de TFSA, corrigidas para TFSE pelo fator relativo a umidade residual, que foram acondicionados em balões volumétricos de cerca de 50mL, cujo volume foi aferido. Aos balões foram adicionados 20 mL de álcool e após descanso de 24h o volume dos balões foi completado, anotando-se o volume de álcool gasto para o total preenchimento dos frascos. De posse do valor total de álcool gasto, do volume inicial do balão e da massa de solo foi calculada a densidade das partículas, pela equação:

$$Dp = \left( \frac{\frac{Ms}{Fc}}{50 - Va} \right)$$

Onde:

Dp - Densidade das partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), Ms - Massa de solo seco (g), Fc - Fator de correção, Va - Volume de álcool gasto (ml);

A porosidade do solo, que é o volume de todos os espaços vazios (poros) entre os sólidos do solo (Kielh, 1979), foi calculada por método indireto a partir dos valores de Dp e Dp, pela equação:

$$Pt = \left( 1 - \frac{Ds}{Dp} \right) \times 100$$

Onde:

Pt - Porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ); Ds - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); e Dp - Densidade das partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ );

### c) Estabilidade de agregados.

Para determinar a distribuição das classes de agregados, foi usado tamisamento via úmida e o aparelho de Yoder (1936), que foi calibrado para funcionar durante 15 min, com 38 oscilações de imersão em água e suspensão em um intervalo espacial de 3,5 cm de amplitude entre o ponto máximo e mínimo.

A umidade residual foi determinada em outra amostra indeformada. Cada amostra de solo foi colocada em placa de Petri e umedecida, lentamente, com água, com auxílio de pulverizador manual. Depois, as amostras foram transferidas para o aparelho de Yoder, colocadas na primeira parte superior de um conjunto de peneiras com malhas de tamanho decrescente de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,105 mm de abertura. Após o término programado de oscilação do conjunto de peneiras, o conteúdo retido em cada uma foi transferido para placa de Petri e levado a secar em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , durante 24 horas, e em seguida pesado. A classe de tamanho de agregados menor do que 0,105 mm foi calculada por diferença, tomando-se o peso inicial, menos a umidade residual, e o peso das demais classes de agregados como base. Todos esses procedimentos foram realizados conforme Embrapa (1997).

A partir dos dados de pesos de agregados em cada peneira, foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo a fórmula proposta por Castro Filho et al., (1998).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (xi \cdot wi)$$

Onde:

DMP – Diâmetro médio ponderado (mm); xi – Proporção em cada classe em relação ao total; wi - Diâmetro médio das classes (mm);

$$DMG = EXP \frac{\sum_{i=1}^N wp \cdot \log xi}{\sum_{i=1}^N wi}$$

Onde:

DMG – Diâmetro médio geométrico (mm); xi – Proporção em cada classe em relação ao total; wi - Diâmetro médio das classes (mm); wp – Peso dos agregados de cada classe (g).

### 3.4 Avaliação Estatística

Para avaliação estatística dos resultados o experimento foi considerado como um delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde cada área foi analisada como um tratamento, totalizando três tratamentos em função da cobertura vegetal, sendo eles: pastagem, feijão e mandioca. A avaliação dos resultados foi feita através de estatística paramétrica, análise multivariada, análise de regressão linear e correlação de Pearson.

Para a análise estatística, os dados foram submetidos aos testes de homogeneidade (Teste de Cochran e Bartlett) e normalidade (Teste de Lilliefors) pelo programa de análise estatística SAEG 9.0 (UFV, 1997). Quando os dados se apresentavam não normais e ou não homogêneos os mesmos foram transformados e posteriormente analisados. Em seguida os dados foram analisados quanto à análise de variância e, quando significativos, pelo teste de médias segundo Tukey ( $0,05 > p$ ), usando o programa SISVAR 4.0 (Ferreira, 2000). A correlação de Pearson foi realizada no SAEG 9.0 (UFV, 1997).

A análise de regressão linear foi realizada com o auxílio do Programa Microsoft Excel (2003), onde os dados foram pareados para a composição da reta, após a confecção do gráfico ainda com o auxílio do Excel, a opção mostrar coeficiente de determinação foi selecionada obtendo-se o valor do  $R^2$ .

Os dados foram submetidos a comparação entre áreas, entre profundidades e entre coletas, sendo utilizado a interação destes como fonte de variação. Para a avaliação da interação dos dados foi utilizado o programa SISVAR 4.0 (Ferreira, 2000).

Para a análise multivariada utilizou-se a ferramenta ACP (Análise de Componentes Principais), para tanto, foi empregado o programa estatístico Canoco 4.5 (Van den Brink & Ter Braak, 1999), onde foram realizados os seguintes procedimentos: vetorização dos dados e matriz de correlação, obtendo-se ao final da análise gráfico com todos os dados, possibilitando avaliar a capacidade discriminatória das variáveis originais no processo de formação dos agrupamentos (Curi et al., 1992).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do Complexo Sortivo

#### 4.1.1 Elementos trocáveis e extraíveis

Os teores dos elementos trocáveis e extraíveis foram (Tabela 4) em geral, elevados. Os valores de  $Al^{3+}$  foram muito altos (entre 1,2 e 4,8  $cmol_c kg^{-1}$ ) se comparados a solos minerais, porém não apresentaram diferença significativa entre as áreas ou entre as profundidades. Vários autores citam que nos solos orgânicos os níveis altos de  $Al^{3+}$  causam danos menores ao crescimento e desenvolvimento das plantas quando comparados aos solos minerais, devido à capacidade da matéria orgânica de formar complexos com o  $Al^{3+}$  reduzindo assim sua toxicidade na solução do solo (Ebeling et al., 2009; Mesquita et al., 2009; Zon, 2008; Plieski et al., 2004; Lepsch, 1990; Lucas et al., 1982).

**Tabela 4.** Valores referentes à análise de rotina para a primeira coleta, abril de 2009, para os três tratamentos.

Área	Prof. (cm)	Al	H	Ca	Mg	K	Na	P
				..... ( $cmol_c kg^{-1}$ ) .....				$mg kg^{-1}$
<b>Pastagem</b>		2,7Aa(a)	27,5ABa(a)	14,1Aba(a)	4,9Aa(a)	0,10Aa(a)	0,49Aa(a)	1Aa(a)
<b>Feijão</b>	0-10	1,3Aa(a)	22,4Ba(a)	9,3Ba(a)	3,4Aa(a)	0,28Aa(a)	0,37Aa(a)	0Aa(a)
<b>Mandioca</b>		1,2Aa(a)	32,7Aa(a)	19,4Aa(a)	6,7Aab(a)	0,66Aa(b)	0,73Aa(a)	1Aa(b)
<b>Pastagem</b>		1,2Aa(a)	29,7ABa(a)	14,9Aba(a)	4,3Aa(a)	0,09Aa(a)	0,35Aa(a)	1Aa(a)
<b>Feijão</b>	10-20	1,5Aa(a)	23,9Ba(a)	9,3Ba(a)	3,6Aa(a)	0,19Aa(a)	0,38Aa(a)	1Aa(a)
<b>Mandioca</b>		1,8Aa(a)	32,1Aa(a)	20,4Aa(a)	5,7Ab(a)	0,20Aa(b)	0,73Aa(a)	1Aa(b)
<b>Pastagem</b>		3,8Aa(a)	29,1ABa(a)	10,8Aa(a)	4,0Aa(a)	0,08Aa(a)	0,36Aa(a)	1Aa(a)
<b>Feijão</b>	20-30	4,3Aa(a)	22,0Ba(a)	9,2Aa(a)	4,1Aa(a)	0,11Aa(a)	0,42Aa(a)	1Aa(a)
<b>Mandioca</b>		3,0Aa(a)	31,9Aa(a)	18,8Aa(a)	6,0Ab(a)	0,25Aa(b)	0,76Aa(a)	1Aa(b)
<b>Pastagem</b>		4,8Aa(a)	29,1ABa(a)	9,7Aa(a)	4,8Ba(a)	0,07Aa(a)	0,43Aa(a)	1Aa(a)
<b>Feijão</b>	30-40	4,8Aa(a)	27,3Ba(a)	9,2Aa(a)	3,7Ba(a)	0,09Aa(a)	0,65Aa(a)	0Aa(a)
<b>Mandioca</b>		2,0 Aa(a)	33,2Aa(a)	15,7Aa(a)	8,7Aa(a)	0,17Aa(b)	0,79Aa(a)	1Aa(b)
<b>CV%</b>		60,02	22,8	55,7	39,4	41,78	22,44	

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

O íon  $H^+$  predominou no complexo sortivo, variando de 22,04  $cmol_c kg^{-1}$  na área de feijão, na profundidade de 20 – 30 cm, até 33,17  $cmol_c kg^{-1}$  na área de mandioca, na profundidade de 30 – 40 cm. Os valores de  $H^+$  apresentaram diferença significativa, quando comparados entre as áreas. Os maiores valores ocorreram na área de mandioca, seguidos, respectivamente, pela área de pastagem e a área de feijão, em todas as profundidades. Porém, quando comparados na mesma área e entre profundidades os valores de  $H^+$  mostraram-se iguais, indicando que os altos teores de  $H^+$  são mais originados dos processos pedogenéticos específicos dos Organossolos que do manejo adotado nas lavouras.

Os teores elevados de  $H^+$  são comuns em Organossolos, onde a liberação de  $H^+$  se deve ao processo de decomposição do resíduo vegetal onde são liberados ácidos orgânicos. Este resultado pode ser confirmado pelos altos teores de substâncias húmicas (SHs) e dos complexos coloidais orgânicos, que são saturados pelo hidrogênio no processo de oxidação da

matéria orgânica (Mesquita et al., 2009). Ainda relacionado à acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ), Lepsch (1990) e Mendonça (1999) ressaltam que os métodos de análises químicas e de recomendação de calagem foram desenvolvidos para solos minerais e devem ser adaptados para os Organossolos. Ebeling et al. (2009) afirmam que o método para quantificar o Al por titulação (EMBRAPA, 1997), como foi desenvolvido para solos minerais, pode não ser adequado para medir Al em solos com elevado teor de matéria orgânica, pois os elevados teores de hidrogênio, provenientes dos ácidos orgânicos, interferem na sua quantificação.

Para os cátions  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  foram também observados valores altos, sendo a razão Ca/Mg em geral da ordem de 3:1, o que em termos agronômicos representa um balanço adequado desses cátions para as plantas. Porém, esses elementos podem estar adsorvidos, formando complexos com a matéria orgânica, o que os deixaria indisponível para a nutrição das plantas. Dessa forma, o elemento pode estar presente no solo e em grandes quantidades, mas estar em forma não disponível para os vegetais, corroborando estudos desenvolvidos por Lucas et al. (1982), Mesquita et al. (2009) e Zon (2008), entre outros.

O teor de  $Ca^{+2}$  variou de 9,27 a 20,40  $cmol_c kg^{-1}$ , para as áreas de feijão (20 a 30 cm) e de mandioca (10-20 cm), respectivamente. Para esse elemento foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos apenas nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, onde a área com mandioca apresentou os maiores teores, seguidos da pastagem e do feijão. Quando comparados em uma mesma área e entre as profundidades os valores se mostraram iguais. A área de mandioca é cultivada com frequente adição de fertilizantes e corretivos, o que explica os maiores valores de  $Ca^{+2}$  até a profundidade de 20 cm, profundidade de revolvimento ou incorporação de insumos dos implementos utilizados na lavoura.

Os teores de  $Mg^+$  variaram de 3,47  $cmol_c kg^{-1}$  para a área de feijão (0-10 cm) a 7,73  $cmol_c kg^{-1}$  para a de mandioca (30-40 cm). A área de mandioca apresentou o valor maior (8,73  $cmol_c kg^{-1}$ ) na profundidade de 30-40 cm que nos demais tratamentos, seguido da profundidade de 10-20 cm (6,73  $cmol_c kg^{-1}$ ) com valor intermediário e nas camadas de 10-20 e 20-30 cm (5,77 e 6,00  $cmol_c kg^{-1}$ ) com os menores valores.

Os teores de Na, em geral, se mostraram elevados, para os padrões de solos minerais não salinos. Entretanto, a participação do Na no complexo sortivo foi baixa indicando que o efeito do mar não mais existe. A distribuição dos valores de Na não seguiu um padrão, variando de 0,35  $cmol_c kg^{-1}$ , na área de pastagem para 10-20 cm, a 0,79  $cmol_c kg^{-1}$  na área de mandioca de 30-40 cm. Já os teores de K foram relativamente baixos e decresceram em profundidade, o que pode ser devido à adição deste elemento em superfície, através de fertilizantes ou biomassa e resíduos animais. Em ambos os casos os teores dos elementos são afetados pela sua maior mobilidade, sendo transportados facilmente pela movimentação do lençol freático (Silva et al., 2008; Mesquita, et al., 2009). Os valores de Na e K não apresentaram diferença significativa entre áreas ou profundidades.

Os valores para Na e K são condizentes com os observados por Zon (2008) e Mesquita et al. (2009), que afirmam que os teores de K nos Organossolos geralmente são baixos devido à baixa capacidade retenção de potássio, mesmo com a elevada CTC do solo, pois os colóides orgânicos retêm fracamente os cátions monovalentes como o K e Na. O conteúdo de K na matéria orgânica do solo é muito pequeno, pois o K na fração orgânica viva não faz parte de nenhum composto orgânico, sendo facilmente lixiviado na transformação da matéria orgânica.

Os valores de P foram muito baixos em todas as áreas, sem variação significativa entre os tratamentos ou nas profundidades amostradas. Uma possível explicação para os teores baixos pode estar no método de determinação, onde foi utilizada a extração com bicarbonato de sódio (que foi o extrator recomendado para esse solo) e não pelo método do duplo ácido.

Para a segunda coleta (Tabela 5), os teores de  $Al^{3+}$  também foram elevados reforçando os estudos de Ebeling et al. (2008) e outros que indicam os altos teores de Al como característica dos solos orgânicos. Os valores variaram entre 0,6 a 4,4  $cmol_c kg^{-1}$ , com

diferença significativa entre as áreas nas seguintes profundidades: 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Onde os maiores valores foram encontrados na área de pastagem e os menores na de mandioca, refletindo a influência do manejo (adição de fertilizantes e calagem). Os teores de  $Al^{3+}$  não diferiram entre as profundidades. Quando comparados em função das duas épocas de coleta os valores de  $Al^{3+}$  não apresentaram diferenças.

Os teores de  $H^+$  variaram de  $13,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , na área de mandioca (0 – 10 cm), a  $21,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , na área de pastagem (20 – 30 cm). Porém não foi constatada diferença significativa para os valores de  $H^+$  entre os tratamentos e entre as profundidades. Em geral, ao comparar as duas coletas, a área de mandioca apresentou valores maiores na primeira, já as demais áreas não apresentaram diferenças.

**Tabela 5.** Valores referentes à análise de rotina para a segunda coleta, abril de 2010, para os três tratamentos.

Área	Prof. (cm)	Al	H	Ca	Mg	K	Na	P
		.....( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).....						mg $\text{kg}^{-1}$
<b>Pastagem</b>		2,5Aa(a)	19,5Aa(a)	7,03Aa(a)	2,87Aa(a)	0,75Ba(a)	0,54Aa(a)	1Ba(a)
<b>Feijão</b>	0-10	1,6Aa(a)	14,1Aa(a)	4,60Aa(a)	5,33Aa(a)	0,98Ba(a)	0,55Aa(a)	1Ba(a)
<b>Mandioca</b>		0,6Aa(a)	13,3Aa(b)	9,83Aa(b)	6,63Aa(a)	4,54Aa(a)	0,53Aa(a)	4Aa(a)
<b>Pastagem</b>		3,7Aa(a)	21,3Aa(a)	4,77Aa(b)	4,07Ba(a)	0,68Ba(a)	0,42Aa(a)	1Ba(a)
<b>Feijão</b>	10-20	1,3ABa(a)	13,6Aa(a)	4,40Aa(a)	4,70ABa(a)	0,73Ba(a)	0,47Aa(a)	0Ba(a)
<b>Mandioca</b>		0,8Ba(a)	13,6Aa(b)	9,60Aa(b)	8,67Aa(a)	4,36Aa(a)	0,66Aa(a)	4Aa(a)
<b>Pastagem</b>		3,7Aa(a)	18,8Aa(a)	2,93Aa(a)	3,47Aa(a)	0,86Ba(a)	0,45Aa(a)	1Ba(a)
<b>Feijão</b>	20-30	1,6ABa(a)	14,2Aa(a)	4,70Aa(a)	5,10Aa(a)	0,89Ba(a)	0,45Aa(a)	0Ba(a)
<b>Mandioca</b>		1,4Ba(a)	13,8Aa(b)	10,33Aa(a)	6,63Aa(a)	5,16Aa(a)	0,59Aa(a)	4Aa(a)
<b>Pastagem</b>		4,4Aa(a)	14,0Aa(a)	3,13Aa(a)	4,50Aa(a)	0,68Ba(a)	0,49Aa(a)	1Ba(a)
<b>Feijão</b>	30-40	3,1ABa(a)	15,3Aa(a)	4,47Aa(a)	5,13Aa(a)	0,68Ba(a)	0,33Aa(a)	0Ba(a)
<b>Mandioca</b>		1,1Ba(a)	13,9Aa(b)	9,73Aa(a)	7,07Aa(a)	4,70Aa(a)	0,67Aa(a)	4Aa(a)
<b>CV%</b>		60,02	22,8	55,73	39,44	41,78	22,44	

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

Para o elemento  $Ca^{+2}$  os teores variaram entre  $2,93$  e  $9,83 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , respectivamente, na área de pastagem (20 – 30 cm) e na de mandioca (0-10 cm), porém sem diferença significativa. Quando comparados entre as coletas, apenas as áreas de mandioca, profundidades de 0-10 e 10-20 cm, e de pastagem, de 10-20 cm, diferiram significativamente da primeira para a segunda coleta, com maiores valores de  $Ca^{+2}$  na primeira coleta. Já o  $Mg^{+2}$ , na profundidade de 10-20 cm, apresentou diferenças entre os tratamentos, onde novamente a área de mandioca mostrou os maiores valores, porém sem diferenças entre as profundidades. Quando comparados entre coletas não houve variação dos teores de  $Mg^{+2}$ .

Os teores de P e K continuaram baixos na segunda coleta, reafirmando o que normalmente é encontrado em Organossolos. A área de mandioca diferiu das demais, com teores mais elevados, porém todas as áreas estão na faixa de baixa fertilidade (Freire et al., 1988). Essa diferença deve-se a recente adubação fosfatada e potássica realizada antes da coleta, apesar de o proprietário não ter informado com exatidão as doses de adubo e a fonte utilizadas. Estudos realizados por Mendonça (1999) em Organossolos de Santa Cruz (RJ), também mostrarem valores altos de K e foram atribuídos a adubação. Quando comparadas as coletas, os teores de P e K da área de mandioca foram maiores na segunda coleta, pelas razões já explicadas, sem diferenças para as demais áreas.

Para o íon  $\text{Na}^+$  não foi observada variação entre as áreas ou entre as profundidades. Os valores mostraram o mesmo padrão da primeira coleta, também com distribuição irregular ao longo do perfil. Os teores de Na variaram pouco e não representaram restrição ao cultivo, uma vez que sua contribuição relativa no complexo sortivo é baixa, apesar de as áreas onde o estudo foi realizado terem influência de sedimentos minerais flúvio-marinhos no lençol freático (Mendonça, 1999). Quando comparados em função das duas épocas de coleta os valores de  $\text{Na}^+$  não apresentaram diferença significativa.

Quanto às relações entre os elementos do complexo sortivo, para a primeira coleta, o valor de S (soma de bases trocáveis) foi elevado, principalmente devido aos altos teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , variando entre 13,59 e 28,51  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente, nas áreas de feijão e mandioca na profundidade de 0-10 cm. O valor S apresentou diferenças entre as áreas de mandioca (28,51  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ), pastagem (20,19  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) e feijão (13,69  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ), na profundidade de 0-10 cm, porém entre as profundidades as diferenças não foram significativas (Tabela 6).

O valor T, somatório do valor S e da Acidez Potencial, apresentou valores regidos pelos elevados teores de  $\text{H}^+$  (Tabela 6). Nas profundidades de 0-10 cm e 30 – 40 cm houve diferença significativa entre as áreas sendo os maiores valores encontrados na área de mandioca, seguidos da área de pastagem e feijão. Porém, o valor V%, que é a saturação por bases, não apresentou diferença significativa, seja entre áreas ou entre profundidades. Os baixos de V% foram devidos à elevada acidez potencial, contribuição do alto teor de MOS, fornecendo grande quantidade do íon  $\text{H}^+$  e elevando o valor T. A contribuição do  $\text{H}^+$  no complexo sortivo, em alguns casos, foi maior que 50% em relação ao valor S.

Na segunda coleta (Tabela 6), o valor S seguiu a tendência da primeira, também elevado em função dos teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ . Na profundidade de 20-30 cm houve diferença significativa entre as áreas, sendo a de mandioca a de maior valor (28,51  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ), seguido da de feijão (11,69  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) e por ultimo a pastagem (8,26  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ). Não houve diferença entre as profundidades. O valor T esteve em consonância com os dados da primeira coleta, novamente refletindo os altos valores de  $\text{H}^+$ , porém sem diferença entre as áreas. Já o valor V% apresentou diferença significativa entre as áreas para todas as profundidades, onde a área de mandioca mostrou os maiores valores, seguidos da área de feijão e da pastagem. Os resultados para os atributos valor S, T e V não diferiram em função das coletas.

**Tabela 6.** Valores referentes à Soma de bases (S), Capacidade de troca catiônica (T) e Saturação por bases (V%), para os três tratamentos.

Área	Prof. (cm)	Coleta 1			Coleta 2		
		S cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	T cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	V %	S cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	T cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	V %
<b>Pastagem</b>		20,19ABa(a)	48,19BAa(a)	41Aa(a)	11,65Aa(a)	34,58Aa(a)	33Ba(a)
<b>Feijão</b>	<b>0-10</b>	13,69Ba(a)	36,92Ba(a)	37Aa(a)	11,91Aa(a)	28,61Aa(a)	41ABa(a)
<b>Mandioca</b>		28,51Aa(a)	61,84Aa(a)	46Aa(a)	22,01Aa(a)	40,61Aa(b)	54Aa(a)
<b>Pastagem</b>		20,29Aa(a)	50,01Aa(a)	40Aa(a)	10,51Aa(a)	36,58Aa(a)	28Ba(a)
<b>Feijão</b>	<b>10-20</b>	14,26Aa(a)	38,86Aa(a)	36Aa(a)	10,83Aa(a)	26,76Aa(a)	40ABa(a)
<b>Mandioca</b>		27,69Aa(a)	60,06Aa(a)	46Aa(a)	23,62Aa(a)	42,99Aa(a)	55Aa(a)
<b>Pastagem</b>		15,74Aa(a)	50,84Aa(a)	31Aa(a)	8,26Ba(a)	31,76Aa(a)	25Ba(a)
<b>Feijão</b>	<b>20-30</b>	14,33Aa(a)	36,80Aa(a)	38Aa(a)	11,69ABa(a)	27,52Aa(a)	41ABa(a)
<b>Mandioca</b>		26,16Aa(a)	5866Aa(a)	44Aa(a)	23,12Aa(a)	41,36Aa(a)	55Aa(a)
<b>Pastagem</b>		15,42Aa(a)	48,25ABa(a)	32Aa(a)	9,31Aa(a)	28,68Aa(a)	32Ba(a)
<b>Feijão</b>	<b>30-40</b>	14,83Aa(a)	45,76Ba(a)	31Aa(a)	11,28Aa(a)	29,58Aa(a)	36ABa(a)
<b>Mandioca</b>		27,67Aa(a)	61,37Aa(a)	45Aa(a)	22,50Aa(a)	42,47Aa(a)	53Aa(a)
<b>CV%</b>		44,4	25,06	26,33	44,4	25,06	26,33

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

#### 4.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Em Organossolos, ao contrário do que ocorre em solos minerais, o pH baixo está mais relacionado aos teores de ácidos orgânicos, que são saturados por H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>, e a outros compostos do complexo coloidal como sulfetos de ferro e compostos de enxofre oxidáveis (estes nos solos tiomórficos), do que aos teores de alumínio em solução (Ebeling, 2008; Mendonça, 1999; Mesquita, et al., 2009; Andriessse, 1984; Lepsch et al., 1990). Assim, os valores de pH em solos orgânicos dependem de fatores tais como: Al hidrolisável, drenagem, ácidos orgânicos livres, o método de determinação e o poder tampão da solução (Ebeling et al., 2008).

Os valores de pH (Tabela 7) não mostraram variação significativa na primeira coleta. O pH em água variou de 4,5 a 5,0, sendo sempre maior que o pH em CaCl<sub>2</sub>, o que está de acordo com Embrapa (2006). Porém os valores foram ligeiramente maiores que os encontrados por Ebeling (2008), que na mesma área constatou valores de pH em água entre 3,5 a 4,5, porém examinando todo o perfil de solo e horizontes/camadas em maiores profundidades.

O pH em KCl apresentou os menores valores quando comparado aos demais extratores, com pH variando de 3,7 a 4,1. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Valladares et al. (2008), analisando 129 perfis com elevado teor de matéria orgânica, onde o valor da moda esteve entre 3,7 e 4,0. O pH em KCl foi menor que o em água, em média em 0,9 unidade, sendo atribuída a diferença ao efeito da solução de KCl, que pela maior concentração de K<sup>+</sup> induz a troca do H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> adsorvidos a superfície das partículas do solo indo para a solução, com conseqüente aumento da acidez (Embrapa, 1997).

**Tabela 7.** Valores de pH com diferentes extratores: água, cloreto de cálcio e cloreto de potássio, referentes à primeira coleta.

Área	Prof. (cm)	Valores de pH			
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	KCl	ΔpH
Pastagem	0-10	4,8Aa(a)	4,2 Aa(a)	4,0Aa(a)	-0,9
Feijão		5,0Aa(a)	4,2Aa(a)	4,1Aa(a)	-0,8
Mandioca		4,8Aa(b)	4,1Aa(a)	3,9Aa(a)	-1
Pastagem	10-20	4,7Aa(a)	4,2Aa(a)	3,8Aa(a)	-0,9
Feijão		5,0Aa(a)	4,2Aa(a)	4,1Aa(a)	-0,9
Mandioca		4,8Aa(b)	4,1Aa(a)	3,9Aa(a)	-0,9
Pastagem	20-30	4,5Aa(a)	4,0Aa(a)	3,8Aa(a)	-0,7
Feijão		4,9Aa(a)	4,0Aa(a)	3,8Aa(a)	-1
Mandioca		4,7Aa(b)	4,1Aa(a)	3,8Aa(a)	-0,9
Pastagem	30-40	4,5Aa(a)	3,8Aa(a)	3,7Aa(a)	-0,8
Feijão		4,7Aa(a)	3,9Aa(a)	3,8Aa(a)	-0,9
Mandioca		4,8Aa(b)	4,1Aa(a)	3,8Aa(a)	-1
CV%		7,39	6,1	5,65	5,22

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

O pH em KCl esta mais sujeito a interferências pelo elevado teor de moléculas orgânicas (radicais carboxílicos e fenólicos oriundos da MOS). Os valores de pH em CaCl<sub>2</sub> foram 0,7 unidades menores em relação ao pH em água. Essa determinação é considerada mais precisa do que a de pH em água para Organossolos, pois a atividade do íon H<sup>+</sup> na solução do solo é bastante afetada por pequenas quantidades de sais normalmente presentes nos Organossolos (Ebeling et al., 2008). Mendonça (1999) em estudos com Organossolo, em Santa Cruz (RJ), encontrou diferença média de 0,4 unidades entre o pH em água e em CaCl<sub>2</sub>.

O ΔpH é calculado pela diferença do valor do pH em KCl pelo pH em água e indica o balanço de cargas no solo. Todos os valores de ΔpH foram negativos (-0,7 a -1,1), indicando o predomínio de cargas negativas, explicado pelo elevado teor de matéria orgânica, portanto com elevada capacidade de troca catiônica (CTC). Não foi observada diferença significativa entre áreas e entre as profundidades.

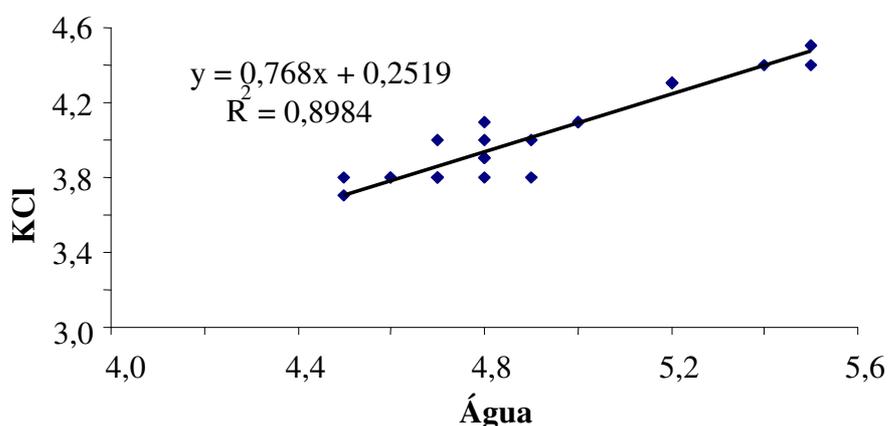
Para a segunda coleta os valores de pH em água apresentaram diferença significativa entre áreas em todas as profundidades, tendo a de mandioca os maiores valores de pH, seguida pela de feijão com valores médios e por último a pastagem. Os valores de pH em água, para a área de mandioca, foram maiores na segunda coleta se comparados com a primeira. As demais áreas não apresentaram distinção entre as coletas. Os valores de pH em CaCl<sub>2</sub> e KCl não apresentaram diferença significativa entre áreas, entre profundidades ou entre coletas, com relação entre os valores dos distintos métodos semelhante a verificada na primeira coleta (Tabela 8).

**Tabela 8.** Valores de pH com diferentes extratores: água, cloreto de cálcio e cloreto de potássio, referentes à segunda coleta.

Área	Prof. (cm)	Valores de pH			
		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	KCl	ΔpH
Pastagem	0-10	4,8Ba(a)	4,3Aa(a)	4,1Aa(a)	-0,7
Feijão		5,2Aba(a)	4,3Aa(a)	4,3Aa(a)	-0,8
Mandioca		5,5Aa(a)	4,3Aa(a)	4,5Aa(a)	-1,1
Pastagem	10-20	4,7Ba(a)	4,2Aa(a)	4,0Aa(a)	-0,7
Feijão		5,2Aba(a)	4,4Aa(a)	4,3Aa(a)	-0,8
Mandioca		5,5Aa(a)	4,2Aa(a)	4,4Aa(a)	-1,1
Pastagem	20-30	4,6Ba(a)	4,1Aa(a)	3,8Aa(a)	-0,7
Feijão		5,2Aba(a)	4,4Aa(a)	4,0Aa(a)	-0,9
Mandioca		5,5Aa(a)	4,3Aa(a)	4,5Aa(a)	-1,1
Pastagem	30-40	4,6Ba(a)	4,2Aa(a)	3,8Aa(a)	-0,8
Feijão		4,9Aba(a)	4,1Aa(a)	4,0Aa(a)	-0,9
Mandioca		5,4Aa(a)	4,2Aa(a)	4,4Aa(a)	-1,1
CV%		7,39	6,1	5,65	5,22

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

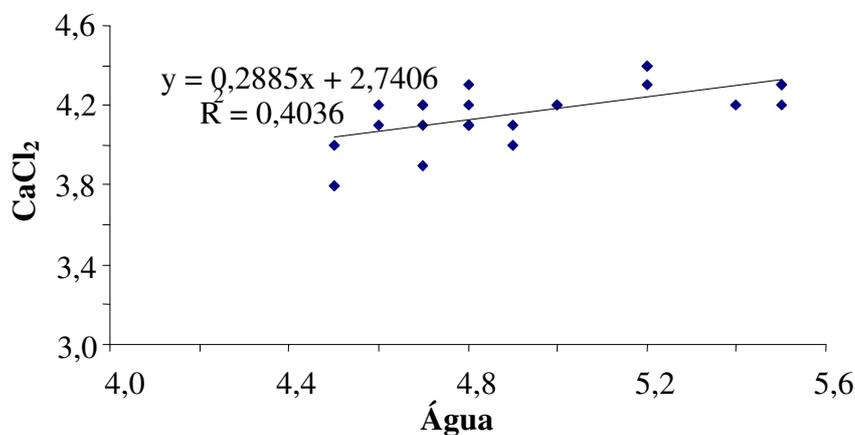
Os resultados de pH foram submetidos à análise de regressão linear, comparando os diferentes extratores dois a dois. Entre os valores de pH em água e em KCl (Figura 7) observa-se um coeficiente de determinação bastante elevado,  $R^2 = 0,89$ , mais alto que 0,79, valor encontrado por Ebeling et al. (2008).



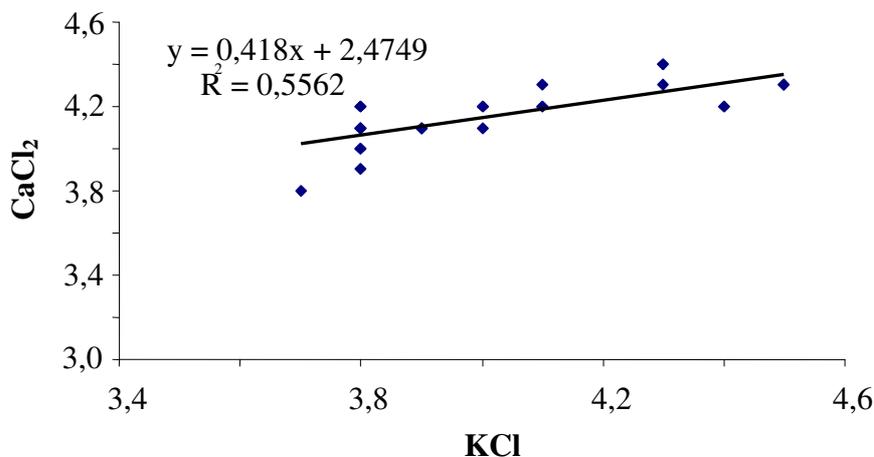
**Figura 7.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de pH de dois extratores diferentes, KCl 1mol L<sup>-1</sup> e água.

O valor de  $R^2$  indica o percentual da variância total da variável dependente que é explicado pela equação de regressão, e é igual ao quadrado do coeficiente de correlação. Para os materiais orgânicos a maior parte da acidez do solo deve-se, provavelmente, à extração (solução salina de moléculas orgânicas com radicais carboxílicos) (Camargo et al., 1986). O coeficiente de determinação entre os valores do pH em CaCl<sub>2</sub> e em água foi o mais baixo entre os três métodos avaliados ( $R^2$  de 0,40), menor do que o encontrado por Ebeling et al. (2008), que foi de 0,54 (Figura 8).

O valor de  $R^2$  obtido entre os métodos de pH em  $\text{CaCl}_2$  e em KCl foi de 0,55 (Figura 9), semelhante ao encontrado por Ebeling et al. (2008), que foi de 0,57. A comparação entre os métodos de determinação de pH sugere que as soluções de KCl e  $\text{CaCl}_2$  também podem ser utilizadas como extratores para a determinação do pH nos Organossolos.



**Figura 8.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de pH de dois extratores diferentes,  $\text{CaCl}_2$   $1\text{ mol L}^{-1}$  e água.



**Figura 9.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de pH de dois extratores diferentes,  $\text{CaCl}_2$   $1\text{ mol L}^{-1}$  e KCl.

#### 4.2 Teores de Matéria Orgânica dos Organossolos

Para a determinação dos teores de matéria orgânica do solo foram utilizadas metodologias de Walkley-Black (WB) e da mufla, cujos resultados foram comparados com os dados obtidos pelo método do CHN. Os valores de matéria orgânica, calculados a partir dos teores de Corg determinados pelo método Walkley-Black (WB), variaram de 142 a 306  $\text{g kg}^{-1}$  na primeira coleta, e de 140 a 303  $\text{g kg}^{-1}$  na segunda. Entretanto, para os Organossolos, a metodologia clássica do WB é contestada, sendo tomado como padrão o método da queima em mufla (Embrapa, 2006).

Pode ser visto na

TABELA 9 que os valores de MOS pelo método da mufla variaram de 163 a 282 g kg<sup>-1</sup> na primeira coleta e de 152 a 310 g kg<sup>-1</sup> na segunda, sendo geralmente maiores que os encontrados pelo WB.

**Tabela 9.** Valores de matéria orgânica do solo (MOS) obtidos com dois métodos, nas duas coletas e nos tratamentos e profundidades.

Área	Prof. (cm)	MOS (g kg <sup>-1</sup> )			
		Coleta 1		Coleta 2	
		WB	MUFLA	WB	MUFLA
Pastagem	0-10	275,2Aa(a)	282,7Aa(a)	303,2Aa(a)	310,3Aa(a)
Feijão		228,1ABa(a)	277,2ABa(a)	212,4ABa(a)	220,3ABa(a)
Mandioca		142,9Ba(a)	162,5Ba(a)	145,4Ba(a)	153,7Ba(a)
Pastagem	10-20	292,3Aa(a)	297,8Aa(a)	299,6Aa(a)	322,9Aa(a)
Feijão		214,5ABa(a)	229,2ABa(a)	203,9ABa(a)	222,4ABa(a)
Mandioca		152,2Ba(a)	163,5Ba(a)	142,1Ba(a)	155,0Ba(a)
Pastagem	20-30	306,3Aa(a)	279,1Aa(a)	240,0Aa(a)	300,5Aa(a)
Feijão		203,4ABb(a)	214,0ABa(a)	227,3ABa(a)	276,2ABa(a)
Mandioca		159,8Ba(a)	177,7Ba(a)	140,6Ba(a)	158,7Ba(b)
Pastagem	30-40	249,0Aa(a)	278,5Aa(a)	153,9Bb(b)	176,1Bb(b)
Feijão		203,7ABa(a)	241,1ABa(a)	234,3Aa(a)	252,1Aa(a)
Mandioca		155,4Ba(a)	169,0Ba(a)	144,5Ba(a)	152,7Ba(b)
CV%		39,81	28,82	39,81	28,82

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas. WB – os valores foram obtidos por metodologia de determinação de carbono via úmida, Walkley-Black e uso de fator de multiplicação; Mufla - os valores foram obtidos por metodologia de determinação de matéria orgânica via forno, Mufla.

Para a primeira coleta os valores de MOS calculados a partir de WB apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, em todas as profundidades. A área de pastagem apresentou sempre os maiores valores, em sequência a de feijão e por último a de mandioca. Os valores de MOS calculados a partir da mufla, em geral, seguiram a mesma sequência para o WB. Quando comparadas às profundidades em uma dada área, os dois métodos não tiveram diferença significativa, pela presença regular de altos teores de carbono orgânico nos solos.

Na segunda coleta os valores de WB e mufla mantiveram quase a mesma distinção entre as áreas, com a mesma sequência observada na primeira coleta, área de pastagem com os maiores valores, seguida de feijão e por último a de mandioca. Porém, na profundidade de 30-40 cm a área de feijão apresentou os maiores valores. Possivelmente a redução na área de pastagem para essa profundidade foi devida a diferenças nas camadas de material orgânico no solo, já que essa profundidade é muito pouco ou em nada afetada pelo manejo.

A distribuição do Corg no perfil dos Organossolos é diferente da observada em solos minerais, onde, geralmente, os teores de Corg decrescem em profundidade. Nos Organossolos, a distribuição de Corg não obedece a uma sequência relacionada a adição em superfície pela ação da cobertura vegetal, sendo comum à presença de valores mais altos em profundidade devido à mineralização mais intensa em superfície. Ou ainda valores irregulares de Corg no perfil, pela deposição de distintos materiais orgânicos durante a formação do solo.

Quando comparados os valores de MOS entre as profundidades na mesma área, os dois métodos apresentaram diferença significativa apenas para a pastagem, com valores menores na profundidade de 30-40 cm. Na coleta dos solos foi observada, na trincheira na área de pastagem, a presença de camadas minerais com gleização, de espessura de aproximadamente 2cm. Assim, o valor menor de MOS em camadas mais profundas, pode ser

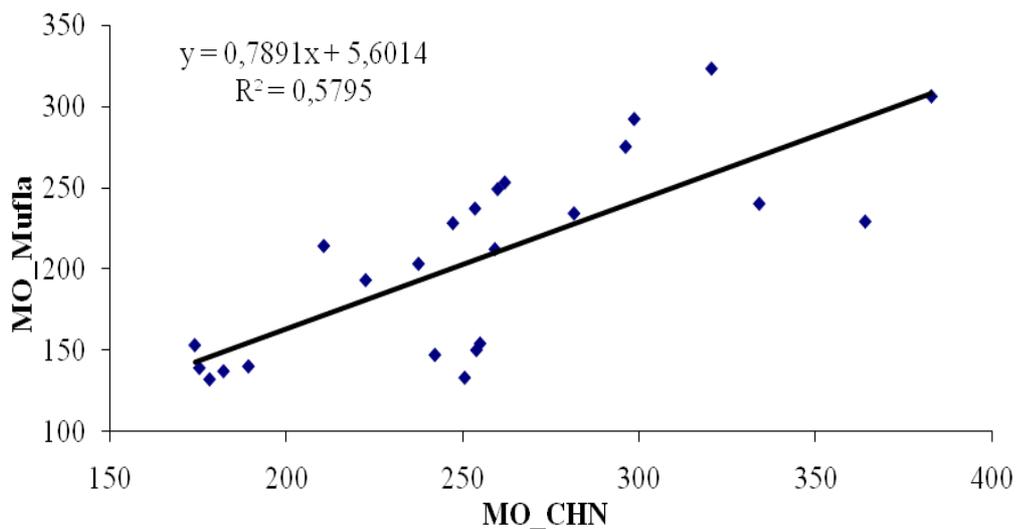
devido a presença de uma dessas camadas na seção de 30-40 cm, portanto, com a diminuição da MOS, independentemente do método. Na comparação dos valores de MOS entre as coletas houve diferença significativa na área de mandioca, nas profundidades de 20-30 e 30-40 cm, onde a primeira coleta apresentou valores maiores que a segunda. Na área de pastagem (30-40 cm), a primeira coleta apresentou valores maiores quando comparados a segunda.

A distribuição dos valores de MOS entre as coletas tem implicações sobre o manejo adotado nas áreas. A área de mandioca possui os menores valores de MOS, pelos dois métodos, indicando o efeito do longo tempo de uso e também de manejo que conduz a intensa mineralização da MOS, com degradação dos solos nesta área. Pois quando utilizados com agricultura intensiva por longo tempo, há forte interferência na dinâmica da MOS, reduzindo seus valores, a ponto de, em algumas áreas vizinhas, já não serem mais os perfis classificados como Organossolos e sim como Gleissolos.

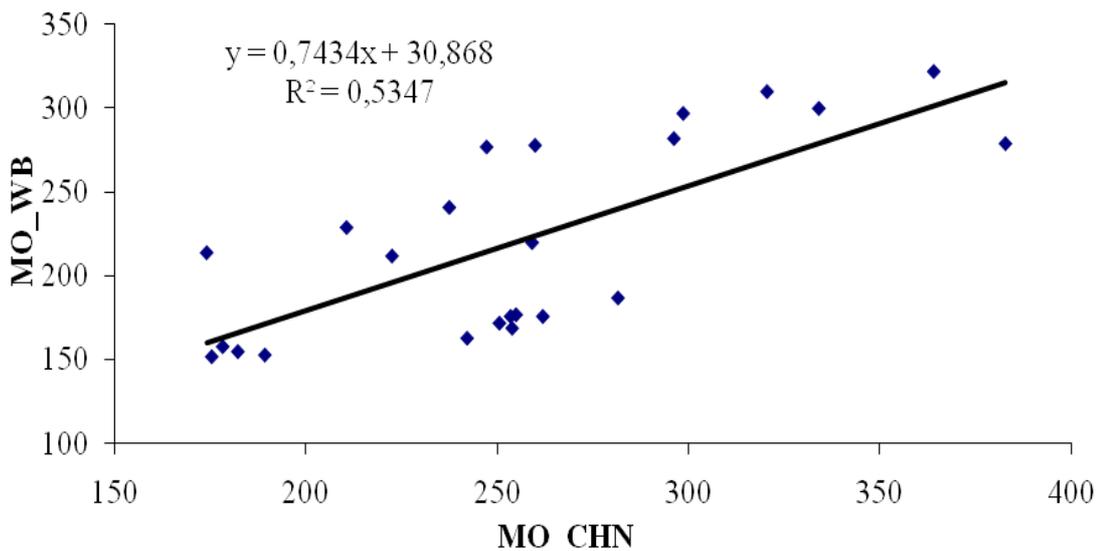
A possível explicação para os valores de MOS pela mufla maiores que os encontrados pelo WB está no desenvolvimento do método e a forma de quantificação. O método da mufla (calcinação) utiliza a gravimetria para determinar o carbono orgânico e possui alguns problemas inerentes ao seu princípio, uma vez que a temperatura alta pode levar a perda de água estrutural (componente da estrutura dos minerais do solo) (Davies, 1974 apud Silva et al., 1999). O que pode superestimar os valores de carbono orgânico do solo. Outra possível fonte de variação é a perda de compostos inorgânicos, pela calcinação em temperaturas mais elevadas, como por exemplo, da gibbsita, o que também pode superestimar o carbono, em maior ou menor escala, dependendo da mineralogia do solo. São vários os trabalhos que testam temperaturas adequadas para a calcinação (Davies, 1974 apud Silva et al., 1999) que, em geral, variam de 375 a 1000°C.

No entanto, Pereira et al. (2006), comparando metodologias de determinação de carbono em Organossolos, concluíram que os valores de carbono e matéria orgânica do solo obtidos por métodos diferentes são comparáveis, e que o fator de correção utilizado pela metodologia da Embrapa (1997) é eficaz para determinação do teor de matéria orgânica. Em trabalho semelhante, Gatto et al. (2009), avaliando os métodos de determinação de carbono Walkley-Black, Yeomans & Bremner e CHNS/O, encontraram correlação positiva e significativa entre os procedimentos. Porém, segundo os autores os dois primeiros métodos tendem a subestimar os teores de C em relação ao método CHNS/O (que foi apontado como método de referência para solos minerais). Para avaliação dos dados foi usada regressão linear, obtendo-se equações que permitiram transformar os teores de C obtidos por Walkley-Black e Yeomans & Bremner em C por combustão seca e vice-versa.

Seguindo este princípio foi aplicado aos valores obtidos nesse estudo o método de regressão linear, para comparar os três métodos: mufla, Walkley-Black, e o CHN. Os mesmos foram avaliados dois a dois gerando as seguintes correlações: mufla e CHN (Figura 10); Walkley-Black e CHN (Figura 11); e mufla e Walkley-Black (Figura 12). Para as comparações foram encontrados valores baixos de  $R^2$ , o que significa alta dispersão dos pontos (teores) em torno da reta. Embora a literatura considere o método da oxidação do carbono via úmida eficaz, alguns fatores podem comprometer o seu uso em solos orgânicos, tais como: elevados teores de carbono nas amostras, diferentes graus de humificação do material orgânico, heterogeneidade das amostras e o controle da temperatura da solução durante o processo de oxidação, entre outros. Dessa forma os valores se distanciam diminuindo o  $R^2$ .



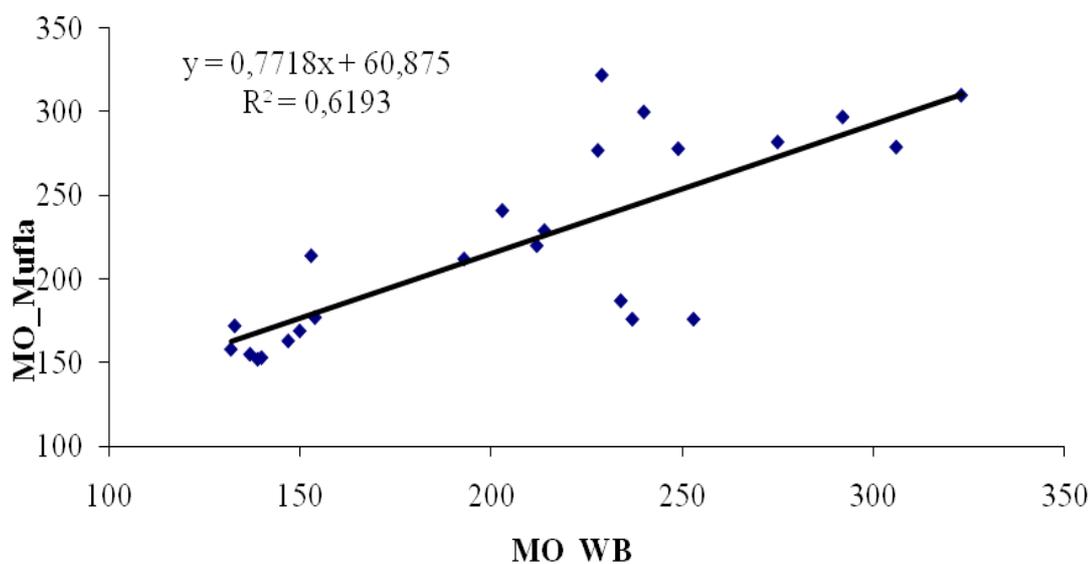
**Figura 10.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono obtidos pelos métodos mufla e CHN.



**Figura 11.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono obtidos pelos métodos Walkley-Black e CHN.

Pereira et al. (2006) afirmam que quanto mais elevado for o teor de carbono na amostra maior tende a ser a dispersão dos dados, com isso o valor  $R^2$  diminui. De acordo como a Figura 11, o coeficiente de determinação entre Walkley-Black e CHN foi baixo, sendo menor ainda que os valores observados na literatura, onde Gatto et al. (2009) encontrou 0,92 e Pereira et al. (2006) o valor de 0,77.

Na Figura 12 observa-se que o coeficiente de determinação entre os métodos mufla e Walkley-Black também apresentou valor baixo, sendo mais uma vez menor que o valor encontrado por Pereira et al. (2006), que foi de 0,88.



**Figura 12.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono obtidos pelos métodos mufla e Walkley-Black.

### 4.3 Propriedades Físicas dos Organossolos

Os valores de  $D_s$  e  $D_p$  são distintos dos valores médios atribuídos a solos minerais, que são de  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$  e  $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente (Brady, 1989). Para a primeira coleta, os valores de densidade da partícula ( $D_p$ ) variaram de  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$  a  $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$  (Tabela 10). Foi observada diferença significativa entre os tratamentos apenas na profundidade de 20-30 cm, sendo a área com mandioca a que apresentou o maior valor de  $D_p$  de  $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$ , logo após o feijão com  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  e por último a pastagem com  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ . Possivelmente, a variação encontrada se deve as diferenças nos teores de matéria orgânica nas diferentes seções amostradas, como pode ser visto na Tabela 10.

A matéria orgânica confere ao solo um volume maior em relação a um mesmo peso, se comparado aos componentes minerais do solo. Dessa forma, as amostras que possuem maiores teores de matéria orgânica, neste caso a pastagem, possuem também menor  $D_p$ . Quando comparados em uma mesma área entre as profundidades os valores de  $D_p$  não diferiram significativamente.

Já os valores de densidade do solo ( $D_s$ ) não apresentaram variações, acredita-se que esse resultado seja devido ao avançado estágio de transformação da matéria orgânica nas três áreas do estudo o que confere pequena diferenciação entre esse atributo. Em Organossolos, os valores de  $D_s$ , em ambiente não alterado pelo uso agrícola, tendem a ser inferiores a uma unidade, podendo ser inferiores a  $0,15 \text{ Mg m}^{-3}$  (Andriessse, 1988; Kämpf & Schneider, 1989).

O volume total de poros (VTP) variou de 50 a 66%, representando o grande volume de vazios desses solos. Os valores de VTP estão além do considerado ideal para solos minerais, o qual, segundo Camargo & Alleoni (1997), seria de 50%, o que também é uma característica comum nos Organossolos. Quando comparados entre os tratamentos, na profundidade de 30-40 cm, a área de feijão apresentou os maiores valores de VTP, seguidos pela pastagem e pela mandioca. Quando comparados em uma mesma área, nas profundidades de amostragem, não foi encontrada diferença significativa.

**Tabela 10.** Valores de Dp, Ds e VTP das três áreas de Organossolos com manejos distintos e profundidades, referentes à primeira coleta.

Área	Prof. (cm)	Dp (Mg m <sup>-3</sup> )	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	VTP (%)
<b>Pastagem</b>	<b>0-10</b>	1,50 Aa(a)	0,68 Aa(a)	55 Aa(a)
<b>Feijão</b>		1,55 Aa(a)	0,57 Aa(a)	64 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		1,67 Aa(a)	0,72 Aa(a)	57 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>10-20</b>	1,50 Aa(a)	0,67 Aa(a)	55 Aa(a)
<b>Feijão</b>		1,31 Aa(a)	0,64 Aa(a)	50 Aa(b)
<b>Mandioca</b>		1,65 Aa(a)	0,69 Aa(a)	58 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>20-30</b>	1,33 Ba(a)	0,54 Aa(a)	60 Aa(a)
<b>Feijão</b>		1,57 Aa(a)	0,56 Aa(a)	63 Aa(b)
<b>Mandioca</b>		1,77 Aa(a)	0,76 Aa(a)	57 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>30-40</b>	1,37 Aa(a)	0,50 Aa(a)	64 Aa(a)
<b>Feijão</b>		1,59 Aa(a)	0,55 Aa(a)	66 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		1,79 Aa(a)	0,77 Aa(a)	57 Ba(a)
<b>CV%</b>		22,66	13,3	15,84

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas. Dp - Densidade da partícula; Ds - Densidade do solo; VTP - Volume total de poros.

Na segunda coleta, os valores de Dp variaram de 1,4 kg dm<sup>-3</sup> a 1,9 kg dm<sup>-3</sup>. Foi observada diferença entre os valores, que seguiu o mesmo padrão para a primeira coleta, onde houve diferença entre os tratamentos, na profundidade de 20-30 cm, e o maior valor foi na área de mandioca com Dp de 1,9 Mg m<sup>-3</sup>, logo após o feijão com 1,6 Mg m<sup>-3</sup> e por último a pastagem com 1,4 Mg m<sup>-3</sup>, (Tabela 11). Ao comparar as duas coletas não houve variação para esse atributo.

Para a Ds foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos para todas as profundidades, onde a área de mandioca apresentou sempre os maiores valores, enquanto que as áreas de feijão e pastagem os menores (os valores dessas duas áreas foram iguais). Quando comparados entre profundidades da mesma área não houve diferença, com variação do atributo em todo o perfil.

O VTP variou de 58 a 64%, semelhante aos valores encontrados na primeira coleta, reforçando a interpretação de que o VTP elevado é uma característica dos Organossolos. Houve variação estatisticamente significativa entre as áreas, nas profundidades de 20-30 e 30-40 cm, onde a área de feijão apresentou maiores valores de VTP, seguida pela área de pastagem e a de mandioca, esta com as menores porcentagens. Esse atributo não variou em profundidade, porém ao ser comparado entre as duas coletas a área de feijão se mostrou diferente nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm, com valores menores para a primeira coleta, enquanto que as demais áreas não diferiram.

**Tabela 11.** Valores de Dp, Ds e VTP das três áreas de Organossolos com manejos distintos e profundidades, referentes à segunda coleta.

Área	Prof. (cm)	Dp (Mg m <sup>-3</sup> )	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	VTP (%)
Pastagem	0-10	1,51 Aa(a)	0,53 Ba(a)	65 Aa(a)
Feijão		1,62 Aa(a)	0,50 Ba(a)	69 Aa(a)
Mandioca		1,91 Aa(a)	0,76 Aa(a)	60 Aa(a)
Pastagem	out/20	1,51 Aa(a)	0,54 Ba(a)	64 Aa(a)
Feijão		1,61 Aa(a)	0,54 Ba(a)	66 Aa(a)
Mandioca		1,88 Aa(a)	0,77 Aa(a)	56 Aa(a)
Pastagem	20-30	1,42 Ba(a)	0,54 Ba(a)	62 ABA(a)
Feijão		1,60 ABA(a)	0,51 Ba(a)	68 A(a)
Mandioca		1,92 Aa(a)	0,84Aa(a)	54 Ba(a)
Pastagem	30-40	1,65 Aa(a)	0,55 Ba(a)	67 ABA(a)
Feijão		1,69 Aa(a)	0,52 Ba(a)	68 Aa(a)
Mandioca		1,88 Aa(a)	0,87 Aa(a)	54 Ba(a)
CV%		22,66	13,3	15,84

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas. Dp - Densidade da partícula; Ds - Densidade do solo; VTP - Volume total de poros.

#### 4.3.1 Atributos físicos exclusivos de Organossolos

A densidade da matéria orgânica (DMO) está relacionada ao uso do solo, sendo que às áreas com maior intensidade de cultivo têm valores maiores que 0,15 Mg m<sup>-3</sup> (Andriesse, 1988; Kämpf & Schneider, 1989). Na Tabela 12, os valores de DMO são sistematicamente maiores, sendo a variação entre 0,15 e 0,27 Mg m<sup>-3</sup>, indicando a interferência do manejo agrícola. Porém, para esse atributo não foi observada diferença significativa entre as áreas ou entre as profundidades.

Quanto ao Material Mineral (MM), os valores estiveram entre 54% e 85%, com pequena variação em profundidade, indicando que a natureza do material é clástica. De acordo com Conceição et al. (1999) essa classe compreende valores de MM na faixa de 54,5 a 74%. Embora Mendonça (1999) discuta que o material mineral é mais pesado que a matéria orgânica, podendo influenciar no aumento da densidade nas camadas mais profundas, não foi observada variação significativa, tanto entre as áreas como entre as profundidades.

O RM, resíduo mínimo, variou de 0,20 a 0,35 cm cm<sup>-1</sup>. O RM vem sendo usado para estimar a proporção entre a espessura residual e a original do solo e relacionado a densidade e as perdas de material orgânico. Também é associado ao grau de subsidência do solo. Porém, como nos demais atributos, não foram observadas variações entre as áreas ou profundidades.

A umidade gravimétrica apresentou grande variação, com valores de 21% a 48%, sendo normal em Organossolo onde a matéria orgânica tem capacidade de adsorver grande quantidade de água. Houve diferença significativa entre as áreas nas profundidades de 20-30cm, onde a pastagem apresentou valores maiores, e de 30-40 cm, onde os valores maiores encontravam-se nas áreas de pastagem e feijão. A possível explicação para a grande flutuação dos valores de umidade é que a determinação foi feita com a umidade do momento da coleta, e algumas profundidades apresentavam maior teor de umidade. A área de feijão apresentou

variação quando avaliada em profundidade, onde os maiores valores foram encontrados na maior profundidade, enquanto que as demais áreas não diferiram (Tabela 12).

**Tabela 12.** Valores de densidade da matéria orgânica (DMO), resíduo mínimo (RM), material mineral (MM) e unidade gravimétrica (Ug) em três áreas de Organossolos com manejos distintos, referentes a primeira coleta.

Área	Prof. (cm)	DMO (Mg m <sup>-3</sup> )	RM (cm cm <sup>-1</sup> )	MM (%)	Ug (%)
<b>Pastagem</b>	<b>0-10</b>	0,26 Aa(a)	0,28 Aa(a)	61,0 Aa(a)	39 Aa(a)
<b>Feijão</b>		0,20 Aa(a)	0,24 Aa(a)	63,9 Aa(a)	32 Ab(a)
<b>Mandioca</b>		0,24 Aa(a)	0,32 Aa(a)	66,6 Aa(a)	23 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>out/20</b>	0,27 Aa(a)	0,27 Aa(a)	59,9 Aa(a)	36 Aa(a)
<b>Feijão</b>		0,19 Aa(a)	0,30 Aa(a)	71,0 Aa(a)	27 Ab(a)
<b>Mandioca</b>		0,22 Aa(a)	0,31 Aa(a)	67,4 Aa(a)	28 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>20-30</b>	0,24 Aa(a)	0,20 Aa(a)	54,5 Aa(a)	48 Aa(a)
<b>Feijão</b>		0,15 Aa(a)	0,28 Aa(a)	74,0 Aa(a)	21 Bb(b)
<b>Mandioca</b>		0,25 Aa(a)	0,34 Aa(a)	66,5 Aa(a)	22 Ba(a)
<b>Pastagem</b>	<b>30-40</b>	0,19 Aa(a)	0,20 Aa(a)	60,4 Aa(a)	43 Aa(a)
<b>Feijão</b>		0,18 Aa(a)	0,24 Aa(a)	64,8 Aa(a)	47 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		0,25 Aa(a)	0,35 Aa(a)	67,7 Aa(b)	21 Ba(a)
<b>CV%</b>		27,36	34,43	15,55	51,36

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

Na segunda coleta (Tabela 13), para DMO não foi observada variação entre as áreas, porém entre profundidades houve diferença, a área de feijão de 30-40 cm apresentou os menores valores que nas demais profundidades. Quando comparado entre as coletas, houve aumento na área de mandioca nas profundidades 20-30 e 30-40 cm, o que pode ser um indício de interferência do manejo agrícola aumentando a DMO.

A área de mandioca, na segunda coleta, apresentou os maiores valores de RM para todas as profundidades, essa informação pode ser utilizada como indicativo do grau de subsidência, pois o RM está relacionado ao grau de decomposição da matéria orgânica e ao teor de matéria orgânica (Conceição et al., 1999). Sendo assim, quanto maior for o RM, menor será o conteúdo de matéria orgânica, indicando que já ocorreu subsidência. Quanto à profundidade e as coletas, não houve diferença significativa.

A Ug novamente apresentou grande variação, com valores de 21% a 71%, sendo normal em Organossolo. Houve diferença significativa entre as áreas nas profundidades de 20-30 cm, onde o feijão apresentou valores maiores, e de 30-40 cm, onde os valores maiores encontravam-se nas áreas de pastagem e feijão, sendo semelhante aos valores da primeira coleta, não apresentando diferença significativa.

**Tabela 13** Valores de densidade da matéria orgânica (DMO), resíduo mínimo (RM), material mineral (MM) e umidade gravimétrica (Ug) em três áreas de Organossolos com manejos distintos, referentes a segunda coleta

Área	Prof. (cm)	DMO (Mg m <sup>-3</sup> )	RM (cm cm <sup>-1</sup> )	MM (%)	Ug (%)
<b>Pastagem</b>	<b>0-10</b>	0,24 Aab(a)	0,21 Ba(a)	57,1 Bab(a)	45 Aa(a)
<b>Feijão</b>		0,16 Aa(a)	0,22 Ba(a)	67,9 ABa(a)	50 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		0,15 Aa(a)	0,46 Aa(a)	81,6 Aa(a)	22 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>out/20</b>	0,24 Aab(a)	0,18 Ba(a)	53,3 Bb(a)	50 Aa(a)
<b>Feijão</b>		0,17 Aa(a)	0,22 Ba(a)	66,2 ABa(a)	45 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		0,16 Aa(a)	0,44 Aa(a)	80,7 Aa(a)	22 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>20-30</b>	0,28 Aa(a)	0,18 Ba(a)	49,9 Bb(a)	43 ABa(a)
<b>Feijão</b>		0,14 Aa(a)	0,23 Ba(a)	71,3 Aa(a)	64 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		0,16 Aa(b)	0,44 Aa(a)	81,0 Aa(a)	23 Ba(a)
<b>Pastagem</b>	<b>30-40</b>	0,14 Ab(a)	0,27 Ba(a)	74,0 Aa(a)	65 Aa(a)
<b>Feijão</b>		0,17 Aa(a)	0,27 Ba(a)	70,3 Aa(a)	71 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		0,15 Aa(b)	0,49 Aa(a)	85,1 Aa(a)	21 Ba(a)
<b>CV%</b>		27,36	34,43	15,55	51,36

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

Como as propriedades físicas dos Organossolos são influenciadas pelos teores de matéria orgânica, é possível utilizá-las como indicadores do processo de subsidência. Assim, de acordo com os valores discutidos anteriormente, a área de mandioca apresentou o grau mais avançado de subsidência, mostrando que o manejo adotado em relação às outras áreas esta causando maiores danos ao solo. Os dados encontrados na área de mandioca sugerem que após um longo tempo de cultivo intensivo os Organossolos podem não suportar os efeitos do manejo inadequado, que são irreversíveis, uma vez que levam a redução dos teores de MOS, portanto, a própria classificação como Organossolos.

#### 4.3.2 Estabilidade de agregados

Para a estabilidade de agregados, os valores de DMP (diâmetro médio ponderado) apresentaram se altos e variando entre 3,23 mm e 4,90 mm (Tabela 14). A faixa de tamanho em que os agregados ficaram retidos, na peneira de maior abertura, expressa o predomínio de agregados grandes. Segundo Angulo et al. (1984), a agregação do solo avaliada por tamisamento via úmida permite inferir sobre a resistência do solo. Isso porque, quanto maiores forem os agregados, maior será o DMP e os espaços porosos entre os agregados.

O comportamento dos valores de DMP está de acordo com Cardozo et al., (2008), que avaliou dois manejos distintos sobre Organossolos de Nova Friburgo, cultivo de oleráceas e em pousio por 20 anos. Os valores encontrados pelos autores oscilaram entre 4,10 e 3,42mm, logo semelhantes à faixa encontrada nesse estudo. Na primeira coleta (Tabela 14), o DMP apresentou diferença significativa entre áreas em duas profundidades, 0-10 e 30-40 cm, com os maiores valores na área de mandioca. A área de pastagem apresentou variação quando avaliada em profundidade, com o maior valor na profundidade de 10-20 cm, enquanto que o valor mais baixo foi encontrado na profundidade de 30-40 cm, e as demais áreas não diferiram. Para a segunda coleta não houve variação entre as áreas e entre profundidade.

Porém, entre as coletas, a área de pastagem na profundidade de 30-40 cm apresentou valor menor na primeira coleta quando comparado com a segunda, e as demais áreas não diferiram.

O DMG (diâmetro médio geométrico) variou de 0,07 a 0,46 mm. O DMG é considerado um parâmetro mais preciso para representar o grau com que as partículas unitárias estão agregadas. Na primeira coleta, o DMG apresentou diferença significativa, onde a área de mandioca apresentou os maiores diâmetros, de 0-10 e 30-40 cm.

Não houve variação entre as profundidades. Na segunda coleta, não houve variação entre áreas ou profundidades. Porém entre coletas, a área de pastagem apresentou valor menor na primeira coleta quando comparado com a segunda, em todas as profundidades. Já as demais áreas não diferiram.

A variação entre as áreas na profundidade 0-10 cm para DMP e DMG, diminuindo a agregação da área com pastagem, possivelmente foi causada por compactação decorrente do pisoteio dos animais, pois cada animal pesa em torno de 350-400 kg. Enquanto na profundidade de 30-40 cm, a variação pode ser em função da gênese do solo, somada a presença constante de água na área de pastagem.

Os agregados no solo da área de mandioca apresentaram os maiores diâmetros. Esse diâmetro maior pode ser devido aos ciclos de umedecimento e secagem, importante fator que interfere na formação dos agregados do solo (Carvalho, 1991, Maltoni, 1994). Em estudos sobre estrutura dos solos agrícolas Aluko & Koolen (2000) examinaram um modelo para a ação das forças capilares na formação de pontes de interagregados no qual a força de coesão entre agregados é atribuída ao filme de umidade, esclarecendo os valores encontrados na área de mandioca, onde os ciclos de umedecimento e secagem ocorrem com maior frequência.

**Tabela 14.** Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) em três áreas de Organossolos com manejos distintos.

Área	Prof. (cm)	1 Coleta		2 Coleta	
		DMP (mm)	DMG (mm)	DMP (mm)	DMG (mm)
<b>Pastagem</b>	<b>0-10</b>	3,78 Bab(b)	0,10 Ba(b)	4,26 Aa(a)	0,26 Aa(b)
<b>Feijão</b>		4,18 ABa(a)	0,26 ABa(a)	4,14 Aa(a)	0,33 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		4,90 Aa(a)	0,46 Aa(a)	4,22 Aa(a)	0,13 Aa(b)
<b>Pastagem</b>	<b>out/20</b>	4,31 Aa(a)	0,09 Aa(b)	4,37 Aa(a)	0,37 Aa(a)
<b>Feijão</b>		4,49 Aa(a)	0,18 Aa(a)	4,45 Aa(a)	0,28 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		4,86 Aa(a)	0,26 Aa(a)	4,51 Aa(a)	0,16 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>20-30</b>	3,61 Aab(b)	0,14 Aa(b)	4,24 Aa(a)	0,34 Aa(a)
<b>Feijão</b>		4,29 Aa(a)	0,17 Aa(a)	4,15 Aa(a)	0,32 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		4,38 Aa(a)	0,24 Aa(a)	4,57 Aa(a)	0,20 Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>30-40</b>	3,23 Bb(b)	0,07 Ba(b)	4,32 Aa(a)	0,13 Aa(a)
<b>Feijão</b>		3,85 ABa(a)	0,17 ABa(a)	4,16 Aa(a)	0,22 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		4,45 Aa(a)	0,36 Aa(a)	4,33 Aa(a)	0,24 Aa(a)
<b>CV%</b>		11,1	51,32	11,1	51,32

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

#### 4.4 Fracionamento das Substâncias Húmicas

Quanto ao fracionamento químico da matéria orgânica do solo, verificou-se que houve um predomínio da fração humina (C-HUM), seguida dos ácidos húmicos (C-FAH) e posteriormente dos ácidos fúlvicos (C-FAF). O predomínio da humina também foi notado

por Conceição et al. (1999), em Organossolos da baixada litorânea do Rio de Janeiro, por Valladares et al. (2007) em estudo com Organossolos de várias regiões do Brasil, e por Fontana (2009) caracterizando horizontes diagnósticos com altos teores de matéria orgânica.

Foi observada variação dos valores de C-HUM, de 46,09 a 125,44 g kg<sup>-1</sup>, na primeira coleta (Tabela 15). Porém, apenas na profundidade de 20-30 cm encontrou-se diferença entre as áreas. Onde a pastagem apresentou o maior valor, provavelmente devido a qualidade da matéria orgânica decorrente da cultura de brachiaria, material com elevada relação C/N, promovendo menor decomposição, maior tempo de permanência do resíduo sob o solo, e como consequência, aumentou a quantidade de matéria orgânica no solo, favorecendo o incremento das frações mais humificadas (Pinheiro et al., 2003). Diversos trabalhos evidenciam que a relação C/N dos resíduos orgânicos presentes no solo é um dos principais fatores controladores da velocidade do processo de decomposição (Heal et al., 1997), dessa forma, em escala decrescente aparece a pastagem, o feijão e a mandioca (essas duas últimas o material recém adicionado ao solo é composto basicamente por folhas e talos com diâmetros pequenos, facilitando a decomposição).

**Tabela 15** .Teores de carbono nas frações humina (C-HUM), ácido húmico (C-FAH) e ácido fúlvico (C-FAF), e relação C-FAH/C-FAF, para a primeira coleta.

Área	Prof. (cm)	C-HUM (g kg <sup>-1</sup> )	C-FAH (g kg <sup>-1</sup> )	C-FAF (g kg <sup>-1</sup> )	C-FAH/C-FAF (g kg <sup>-1</sup> )
<b>Pastagem</b>		115,58 Aa(a)	29,80 Aa(b)	13,78Bb(b)	2,18 Aa(a)
<b>Feijão</b>	<b>0-10</b>	90,64 Aa(a)	28,32 Aa(a)	13,34Bb(a)	2,19 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		77,26 Aa(a)	35,38 Aa(a)	22,67 Aa(a)	1,57 Aa(a)
<b>Pastagem</b>		118,47 Aa(a)	26,52 Aa(a)	24,10 Aa(a)	1,22 Aa(a)
<b>Feijão</b>	<b>10-20</b>	69,64 Aa(b)	29,03 Aa(a)	25,24 Aa(a)	1,24 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		75,68 Aa(a)	32,34 Aa(a)	29,28 Aa(a)	1,14 Aa(a)
<b>Pastagem</b>		125,44 Aa(a)	31,57 Aa(a)	20,38 Aa(a)	1,73 Aa(a)
<b>Feijão</b>	<b>20-30</b>	46,09Bb(b)	23,81 Aa(a)	18,82 Aab(a)	1,26 Aa(a)
<b>Mandioca</b>		88,14 Aba(a)	39,63 Aa(a)	19,50 Aa(a)	2,10 Aa(a)
<b>Pastagem</b>		90,49 Aa(b)	32,26 Aa(b)	21,86 Aa(a)	1,52 Aa(b)
<b>Feijão</b>	<b>30-40</b>	70,82 Aa(b)	24,95 Aa(b)	22,04 Aa(a)	1,15 Aa(b)
<b>Mandioca</b>		82,58 Aa(a)	37,00 Aa(a)	25,09 Aa(a)	1,52 Aa(a)
<b>CV%</b>		33,48	17,45	32,72	43,58

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

O maior teor de C-HUM (Tabela 16 e Tabela 17) se deve a maior estabilidade desta fração quando comparada aos ácidos húmicos e fúlvicos. As huminas são substâncias bastante desenvolvidas e com elevada resistência à degradação microbiana, por possuir grande afinidade à fração mineral do solo (Stevenson, 1994).

Os valores de C-FAH não apresentaram diferença, os valores de C-FAF apresentaram variações, apenas na profundidade de 0-10 cm, onde a área de mandioca apresentou o maior valor. Não houve variação em profundidade para os compartimentos do carbono, o que reforça o fato dos Organossolos apresentarem processos semelhantes nas transformações da MOS nas camadas avaliadas.

Na segunda coleta (Tabela 16), foi também verificado o predomínio da fração C-HUM sobre as frações C-FAH e C-FAF. A fração C-HUM apresentou diferença significativa em todas as profundidades, assumindo em geral a mesma distribuição, onde a pastagem apresentou os maiores valores, seguida pela área de feijão e por último a de mandioca. Esse

resultado indica que a fração C-HUM tem comportamento concordante com a variação dos valores de MOS (Tabela 9).

**Tabela 16.** Teores de carbono nas frações humina (C\_HUM), ácido húmico (C\_FAH) e ácido fúlvico (C\_FAF), e relação C-FAH/C-FAF, para a segunda coleta.

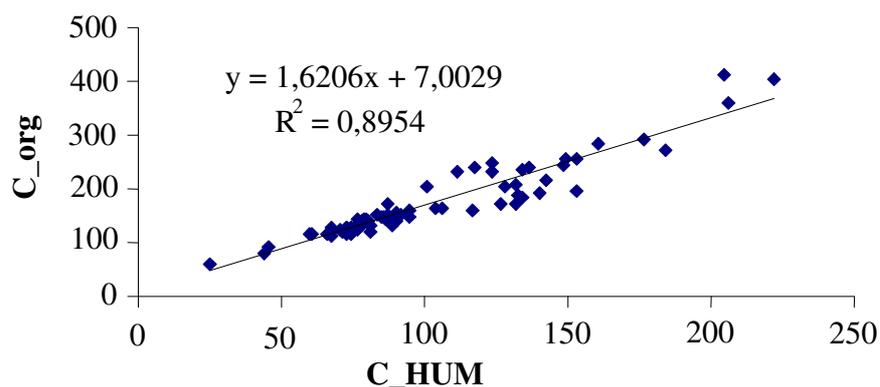
Área	Prof. (cm)	C_HUM (g kg <sup>-1</sup> )	C_FAH (g kg <sup>-1</sup> )	C_FAF (g kg <sup>-1</sup> )	C-FAH/C-FAF (g kg <sup>-1</sup> )
Pastagem		186,36 Aa(a)	82,50 Aa(a)	54,37 Aa(a)	1,54 Aa(a)
Feijão	<b>0-10</b>	100,62 ABA(a)	49,34Ba(a)	17,62Ba(a)	2,21 Aa(a)
Mandioca		79,05Ba(a)	44,56Ba(a)	15,90Ba(a)	2,80 Aa(a)
Pastagem		135,36 Aa(a)	58,20 Aa(a)	35,87 Aa(a)	1,66 Aa(a)
Feijão	<b>10-20</b>	125,79 Aa(a)	67,50 Aa(a)	42,86 Aa(a)	2,05 Aa(a)
Mandioca		77,19Ba(a)	42,76 Aa(a)	17,00Ba(b)	2,54 Aa(a)
Pastagem		149,69 Aa(a)	59,72 Aa(a)	30,36 Aa(a)	2,15 Aa(a)
Feijão	<b>20-30</b>	106,65 ABA(a)	62,91 Aa(a)	29,26 Aa(a)	2,40 Aa(a)
Mandioca		76,27Ba(a)	41,44 Aa(a)	14,36Ba(a)	3,10 Aa(a)
Pastagem		133,66 Aa(a)	87,38 Aa(a)	31,52 Aa(a)	3,27 Aa(a)
Feijão	<b>30-40</b>	129,61 Aa(a)	70,36 ABA(a)	30,50 Aa(a)	3,25 Aa(a)
Mandioca		78,18Ba(a)	40,95Ba(a)	20,37 Aa(a)	2,14 Aa(a)
CV%		33,48	17,45	32,72	43,58

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

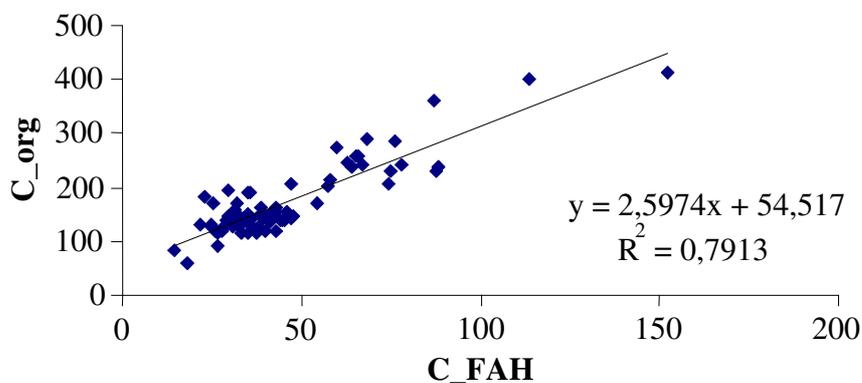
Para os valores de C-FAH foi observada variação significativa apenas nas profundidades de 0-10 e 30-40 cm, sendo a área de pastagem a que apresentou maiores valores. Já para o C-FAF houve diferença entre as áreas, nas três primeiras profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm), onde a pastagem manteve os maiores valores e a área de mandioca os menores. A área de feijão, de 0-10 cm, mostrou valor menor de C-FAF, enquanto que na segunda e terceira profundidades os valores aumentaram. Não foi observada variação em profundidade. Para a relação C-FAH/C-FAF os valores variaram de 1,14 a 2,19, semelhante ao encontrado por Fontana (2009), que observou predomínio de valores maiores que 2,0, indicando o predomínio de C-FAH em todas as amostras.

Na segunda coleta, a variação nas frações do carbono (C-HUM, C-FAH e C-FAF) se torna mais perceptível e com maior relação com a MOS. Esse resultado sugere que o manejo das áreas influenciou os compartimentos da MOS modificando seus teores (Tabela 16). Os resultados para a área de mandioca continuam apontando como sendo este o manejo mais invasivo entre os avaliados para solos orgânicos. O C-HUM foi a fração que apresentou a maior correlação com o C<sub>org</sub> nos Organossolos ( Figura 13). Dessa maneira, essa fração pode ser utilizada como parâmetro auxiliar para indicar um manejo possivelmente mais adequado em Organossolos.

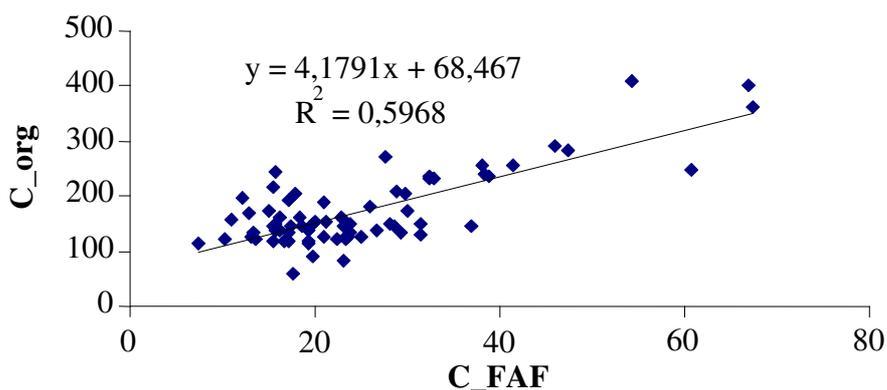
Ao se realizar a regressão linear comparando os valores da fração C-HUM com os valores de carbono orgânico, determinados pelo WB, foi encontrado alto valor de R<sup>2</sup> (igual a 0,89). Isto indica que a dispersão dos pontos foi baixa e que os valores de humina estão altamente relacionados com os teores de carbono. De acordo com as Figura 13, 14 e 15 pode ser percebido que conforme ocorre o aumento dos valores ocorre também maior dispersão dos pontos em relação a reta, assim o afastamento dos últimos pontos tende a ser maior, diminuindo o valor de R<sup>2</sup>.



**Figura 13.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono orgânico pelo WB e o C da fração humina (C-HUM).



**Figura 14.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono orgânico pelo WB e o C da fração ácido húmico (C-FAH).



**Figura 15.** Regressão linear e equação da reta gerada com os valores de carbono orgânico pela WB e o C da fração ácido fúlvico (C-FAF).

Os valores encontrados corroboram Valladares (2003), que também verificou a existência de elevada correlação entre o C-org e as frações C-HUM e C-FAH, porém com a fração C-FAF a correlação foi menor. Essa correlação menor pode ser reflexo das próprias

características dos ácidos fúlvicos, como a alta solubilidade e sua mobilidade no solo, o que aumenta a perda do perfil de solo (Stevenson, 1982).

Como a área de mandioca possui drenos relativamente profundos e mais antigos, existe grande probabilidade que os menores teores da fração C-FAF sejam provenientes de perdas desta fração no perfil. Quando a água é retirada do perfil pela drenagem, a matéria orgânica mais solúvel e que está dissolvida em água também é perdida. Essa interpretação está em consonância com os dados obtidos por Zon (2008), que relaciona a perda de ácido fúlvicos a sua solubilidade, relatando que, por ser essa fração mais solúvel também predomina nas substâncias húmicas dissolvidas.

#### **4.5 Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo**

O C e o N são os principais componentes da matéria orgânica do solo e os seus estoques irão variar em função das taxas de adição, por resíduos vegetais e, ou, animais, e de perdas, dentre elas, as decorrentes da oxidação pelos microrganismos do solo. Em solos sem intervenção antrópica, o teor e o estoque desses elementos são determinados basicamente pela temperatura, pela umidade e pelo tipo de solo (Bayer & Mielniczuk, 1997).

Os Organossolos possuem capacidade diferenciada de outras classes de solo quanto ao armazenamento de carbono e por esse motivo são muito importante como reservatórios de C, mesmo sendo encontrados em pequenas áreas (Santos et al., 2003). Entretanto, as áreas de Organossolos no Brasil vêm sendo objeto de intensas pressões antrópicas, para vários fins, culminando na degradação da MOS, no declínio de produtividade e até mesmo em seu desaparecimento.

Os estoques de C e N foram avaliados nas seções de solo até a profundidade de 40 cm. Os teores de C e N foram determinados no CHN e os estoques foram calculados por dois métodos, aqui referidos como clássico e com correção pela massa de solo (Tabelas 18 e 19).

Os valores do estoque de carbono calculado pelo método clássico (Tabela 18) para a primeira coleta apresentaram diferença estatística significativa. A área de pastagem obteve os maiores valores, nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm, seguida pela área de feijão e a de mandioca. Quando comparadas entre profundidades, a área de pastagem mostrou diferença significativa, com o menor valor na profundidade de 30-40 cm.

Para a segunda coleta o método clássico acompanhou a mesma sequência, sendo a área de pastagem com maior estoque nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm, porém não houve variação entre os tratamentos nas demais profundidades. Quando comparadas entre coletas a área de mandioca apresentou maior estoque para a primeira coleta, na seção de 30-40cm.

Para o estoque de C calculado pelo método com correção da massa do solo, a primeira coleta mostrou diferença entre as áreas. A área de pastagem permaneceu com os maiores valores, nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm, seguida pela área de feijão e com os teores menores na área de mandioca. Nas demais profundidades não houve diferença significativa e quando comparadas entre profundidades também não foi encontrada diferença. Para a segunda coleta, o comportamento foi semelhante, sendo a área de pastagem maior nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm, porém não houve variação entre os tratamentos nas demais profundidades. Quando comparados entre coletas a área de pastagem apresentou, para a primeira coleta, valor maior que a segunda coleta, na profundidade de 20-30 cm.

Nos dois métodos avaliados a área de pastagem obteve os maiores valores de estoque de C. Isso ocorre porque a pastagem é um sistema eficiente em manter os estoques de C orgânico do solo, apresentando variações positivas em relação aos demais cultivos (D'Andréa et al., 2004). O aumento no estoque de C no solo é de grande importância, pois o carbono depositado é proveniente do sequestro de C atmosférico, via fotossíntese, sendo, do ponto de vista ambiental, muito importante na mitigação da emissão de gases do efeito estufa (Lal,

2002). Em Organossolos, sua importância é ainda maior, pois a MOS é oriunda de material estocado ao longo do tempo de formação dos solos, por vezes em períodos geológicos anteriores. Portanto, pode ser mesmo considerado como uma reserva de carbono orgânico.

**Tabela 17.** Valores de estoque de carbono determinado por via seca usando equipamento CHN/LECO, referentes à primeira coleta.

Área	Prof (cm)	Carbono (Mg kg <sup>-1</sup> )			
		Coleta 1		Coleta2	
		Clássico	Corrigido	Clássico	Corrigido
<b>Pastagem</b>	<b>0-10</b>	115,92Aa(a)	97,53Aa(a)	99,35Aa(a)	92,40Aa(a)
<b>Feijão</b>		81,69Ba(a)	81,43Aa(a)	74,67Aa(a)	74,72Aa(a)
<b>Mandioca</b>		104,98ABa(a)	82,52Aa(a)	83,16Aa(a)	74,60Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>10-20</b>	115,34Aa(a)	111,28Aa(a)	113,65Aa(a)	110,72Aa(a)
<b>Feijão</b>		78,72Ba(a)	78,52Ba(a)	70,62Ba(a)	67,70B(a)
<b>Mandioca</b>		97,27ABa(a)	90,26ABa(a)	88,65Ba(a)	75,45B(a)
<b>Pastagem</b>	<b>20-30</b>	116,57Aa(a)	117,12Aa(a)	104,35Aa(a)	90,65Aa(b)
<b>Feijão</b>		56,71Ba(a)	53,30Ba(a)	73,95Ba(a)	68,81Aa(a)
<b>Mandioca</b>		112,64Aa(a)	78,02Ba(a)	92,20Ba(a)	48,41Aa(a)
<b>Pastagem</b>	<b>30-40</b>	72,93Bb(a)	74,80Aa(a)	83,08Aa(a)	77,96Aa(a)
<b>Feijão</b>		74,88Ba(a)	68,35Aa(a)	85,03Aa(a)	83,79Aa(a)
<b>Mandioca</b>		113,15Aa(a)	73,07Aa(a)	89,27Aa(b)	52,23Aa(a)
<b>CV%</b>		33,2	38,21	33,2	38,21

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

No entanto, os valores do estoque de C estão de acordo com a média estimada para Organossolos não cultivados do Estado do Rio de Janeiro, variando de 200 a 500 Mg C ha<sup>-1</sup> em um metro de profundidade. Esses valores são baseados em estudo de quantificação e distribuição espacial do carbono orgânico (Mendonça Santos et al., 2003).

Os valores do estoque de nitrogênio calculados pelo método clássico (Tabela 18), para a primeira coleta, apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. A área de pastagem obteve os maiores valores, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, seguida da área de feijão e, com os menores valores, a área de mandioca. Quando comparadas entre profundidade às áreas de pastagem e feijão mostraram diferenças, sendo a pastagem com menor valor na profundidade de 30-40 cm e a área de feijão de 20-30 cm.

Para a segunda coleta o método clássico acompanhou a mesma sequência. A área de pastagem mostrou maior estoque de N nas três primeiras profundidades, porém não houve variação entre profundidades para um mesmo tratamento. Quando comparados entre coletas a pastagem apresentou, para a primeira coleta, valores maiores que a segunda, em todas as profundidades exceto a de 30-40. Já a área de feijão mostrou maior estoque de N na primeira coleta, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Ao comparar os dois métodos, na maioria dos casos, tanto para C como para N, onde se realizou correção pela massa de solo foram encontrados valores pouco menores, todavia os tratamentos mantiveram comportamento semelhante.

Os resultados dos estoques de N podem ser melhor entendidos quando analisados em conjunto com os estoques de C, pois o nitrogênio nos Organossolos encontra-se

principalmente na forma orgânica, como parte da MOS. Assim, as mudanças nos teores de MOS são sempre acompanhadas de alterações semelhantes no estoque de nitrogênio. Os teores de nitrogênio são também relevantes quando interpretados através da sua relação com o teor de carbono (relação C/N), que diz respeito à evolução da MOS (Lal, 2002).

A avaliação dos estoques de C e de N no solo é fundamental para compreender a dinâmica da MOS em sistemas naturais e nos agroecossistemas. Estes atributos podem auxiliar o desenvolvimento de tecnologias agrícolas sustentáveis, bem como avaliar o papel do solo como depósito ou fonte de C-CO<sub>2</sub> e N-N<sub>2</sub>O para a atmosfera (Corazza et al., 1999).

**Tabela 18.** Valores de estoque de carbono determinado por via seca usando equipamento CHN/LECO, referentes à segunda coleta.

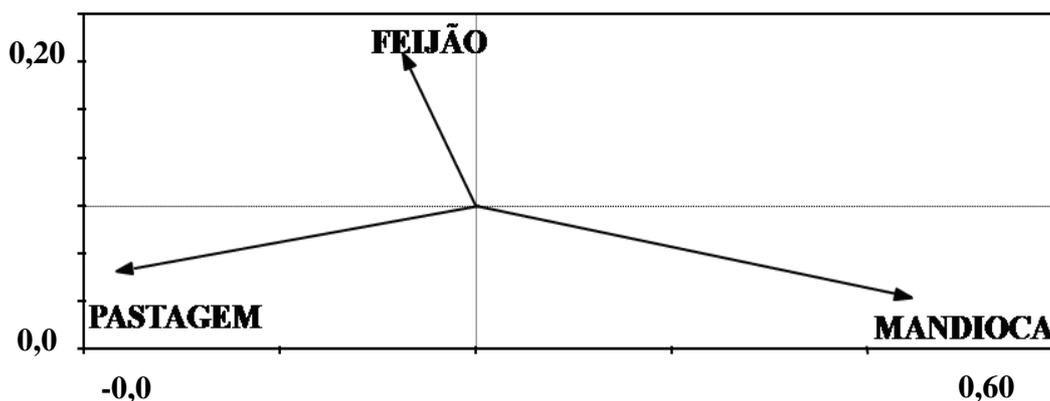
Área	Prof (cm)	Nitrogênio (Mg kg <sup>-1</sup> )			
		Coleta 1		Coleta2	
		Clássico	Corrigido	Clássico	Corrigido
<b>Pastagem</b>		8,35Aa(a)	7,14Aa(a)	4,45Aa(b)	4,76Aab(b)
<b>Feijão</b>	<b>0-10</b>	5,41ABa(a)	5,38Aa(a)	2,56Ba(b)	2,89Ba(b)
<b>Mandioca</b>		1,86Ba(a)	1,47Ba(a)	1,23Ba(a)	0,93Ba(a)
<b>Pastagem</b>		7,76Aa(a)	7,48Aa(a)	5,32Aa(b)	6,37Aa(a)
<b>Feijão</b>	<b>10-20</b>	3,01ABab(a)	3,97Bab(a)	1,97Ba(b)	2,33Ba(a)
<b>Mandioca</b>		2,34Ba(a)	2,09Ba(a)	1,69Ba(a)	1,28Ba(a)
<b>Pastagem</b>		6,77Aa(a)	6,86Aa(a)	3,67Aa(b)	3,58Aab(b)
<b>Feijão</b>	<b>20-30</b>	1,43Bb(a)	1,35Bb(a)	2,09Aa(a)	2,12Aa(a)
<b>Mandioca</b>		1,94Ba(a)	1,35Ba(a)	0,78Ba(a)	0,46Ba(a)
<b>Pastagem</b>		3,42Ab(a)	3,50Ab(a)	2,67Aa(a)	2,41Ab(a)
<b>Feijão</b>	<b>30-40</b>	2,08Aab(a)	1,95Bb(a)	2,57Aa(a)	2,43Aa(a)
<b>Mandioca</b>		2,62Aa(a)	1,72Ba(a)	1,24Aa(a)	0,69Aa(a)
<b>CV%</b>		36,48	42,36	36,48	42,36

# As letras maiúsculas representam os tratamentos dentro de uma mesma profundidade, as letras minúsculas representam as profundidades dentro de um mesmo tratamento, as letras entre parênteses representam as coletas.

#### 4.6 Integração dos Resultados dos Atributos dos Organossolos

Aos resultados dos atributos analisados dos Organossolos foi aplicada a análise multivariada para distinguir possíveis efeitos dos tratamentos. Foi feita uma ordenação onde os atributos foram sintetizados em gráfico com eixos perpendiculares, representando a variação multidimensional de um conjunto de informações, nesse caso os atributos foram avaliados em função das áreas de estudo (Figura 16).

A análise de componentes principais se mostrou ferramenta útil para avaliar o efeito do manejo dos Organossolos. Foi observada boa separação em função dos tratamentos onde o afastamento dos eixos apresenta angulação de 120°C (Figura 16). Nesse sentido, o eixo 1 foi responsável pela separação da área de feijão das demais áreas, estando esta sobre a linha horizontal e mandioca.



**Figura 16.** Análise dos atributos do solo com ênfase na discriminação das áreas de estudo.

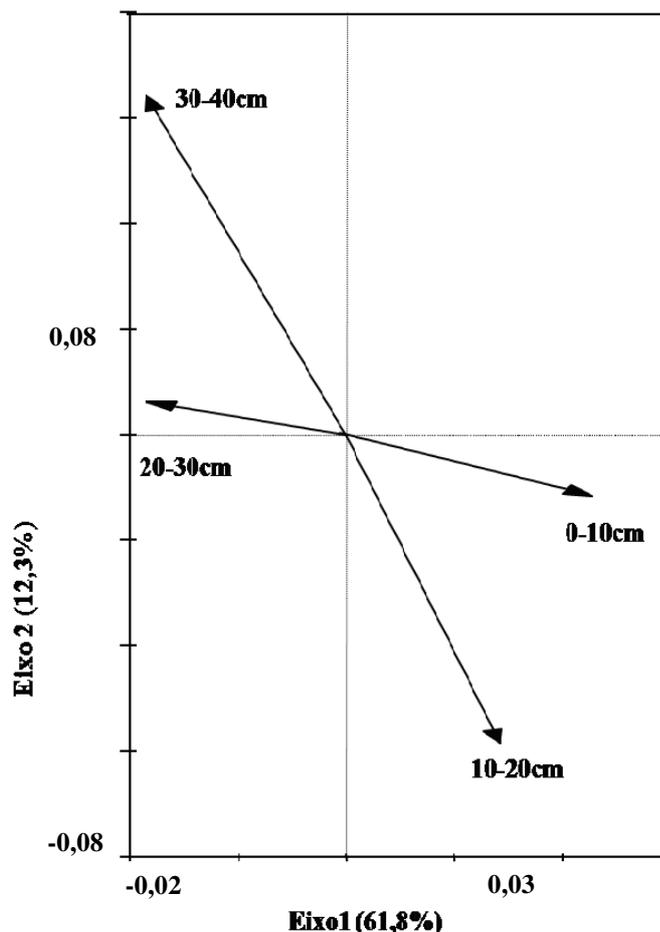
A análise de componentes principais apresentou boa significância, com o somatório dos auto valores alcançando o total de 74,1%, representado pela (Figura 17), onde os valores foram dispostos no gráfico em função das profundidades avaliadas.

A profundidade de 0-10 e 10-20 cm mostrou forte relação com a área de mandioca onde as setas que indicam essas profundidades foram traçadas no mesmo quadrante e em posição semelhante a seta da área em questão. Dessa forma, intervenções relacionadas ao manejo da área como adubação e calagem propiciaram a distinção da área de mandioca das demais. No mesmo contexto, a profundidade 30-40 cm apresentou maior relação com a área de feijão. Enquanto que a profundidade de 20-30 cm ocupou posição intermediária, entre a área de pastagem e feijão.

Na diferenciação entre as áreas em função das profundidades foi possível visualizar certo padrão de agrupamento relacionado as áreas de feijão e mandioca. No entanto, a profundidade não foi suficiente para distinguir a área de pastagem.

Na (Figura 18) é apresentado o gráfico completo, ou seja, com todos os valores e variáveis analisadas. Essas variáveis passam a assumir a forma de vetores e esses, conforme o comprimento e a inclinação obtida oferecem uma relação com o ponto de origem mostrando a influência que a variável possui. Assim, quanto maior a proximidade dos atributos (às variáveis) mais frequente é a sua ocorrência conjunta. Nesse sentido, ao se fazer a dispersão dos dados foi possível perceber a formação de três grupos distintos, cada um representando um tratamento. Portanto, a análise comprova que cada área possui atributos específicos que fazem com que se diferenciem das demais.

A área de pastagem mostrou a junção de grande parte dos atributos relacionados ao conteúdo de carbono, assim como o estado de transformação da matéria orgânica: porcentagem de carbono (C\_CHN), porcentagem de hidrogênio (H\_CHN), porcentagem de nitrogênio (N\_CHN), teor de matéria orgânica do solo pela mufla (MOS\_mufla), teor de nitrogênio pelo destilador (N\_destilador), densidade da matéria orgânica (DMO), teor de alumínio ( $Al^{3+}$ ), teor de hidrogênio ( $H^+$ ), fração humina (C-HUM) e fração de ácidos fúlvicos (C-FAF).

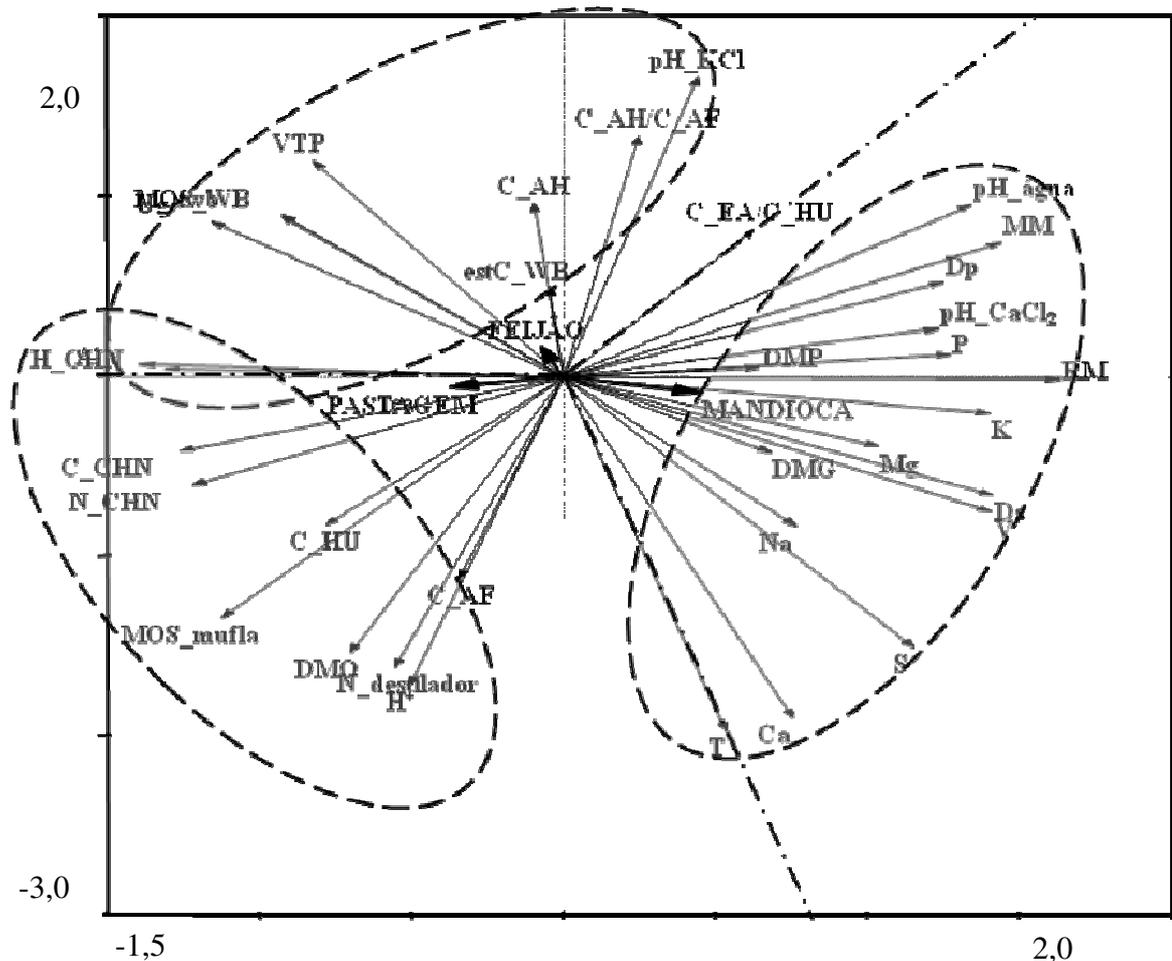


**Figura 17.** Análise dos atributos do solo com ênfase na contribuição das profundidades estudadas como discriminante.

Todos os atributos agrupados na área de pastagem estão diretamente relacionados ao aporte recente e contínuo de material orgânico ao solo, somados aos que indicam menor intervenção pelo preparo de solo. A pastagem, por ser constituída principalmente de gramíneas, propicia elevado aporte de carbono no solo, pelo seu sistema radicular fasciculado, com alta densidade de raízes finas e que são constantemente renovadas. Sendo, portanto, uma fonte de carbono importante para o solo. O material orgânico recém adicionado ao solo durante o processo de decomposição (com a ocorrência das reações de oxidação, reações de quebras de moléculas grandes em moléculas menores) libera para o solo, aminoácidos,  $\text{CO}_2$  e ácidos carboxílicos que são os principais responsáveis pelo aumento de concentração de íons  $\text{H}^+$  na solução do solo.

A área de feijão se apresentou como intermediária, listando atributos com relação direta com o carbono. Porém, foi notada a influencia do manejo, pela expressão de atributos tais como: pH extraído-com KCl ( $\text{pH\_KCl}$ ), relação ácido húmico/ácido fúlvico (FAH/FAF), fração ácido húmico (C-FAH), teor de matéria orgânica do solo pelo WB (MOS\_WB), estoque de carbono do solo pelo WB (EstC\_WB), volume total de poros (VTP), umidade gravimétrica (Ug), teor de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e teor de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ).

Os teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H\_CHN}$  não se associaram especificamente a nenhuma das áreas, encontrando-se na interseção entre a área de pastagem e a de feijão. Esses valores podem ter refletido a gênese do solo e não a influencia do manejo. Como essas duas áreas fazem parte do mesmo ambiente de formação, no município de Macaé - RJ, esses atributos podem estar relacionados a características herdadas do material de origem dos Organossolos.



**Figura 18.** Análise geral, influência dos atributos do solo com ênfase no agrupamento em função das áreas do estudo.

Na área de mandioca foi observado um agrupamento dos atributos químicos referentes a fertilidade do solo e também atributos físicos indicativos de manejo. Os atributos comuns a esta área foram: teor de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), fósforo (P), soma das bases (S), total de bases trocáveis (T), saturação por bases (V), pH extraído com água (pH\_água), pH extraído com CaCl<sub>2</sub> (pH\_ CaCl<sub>2</sub>), densidade do solo (Ds), densidade da partícula (Dp), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), resíduo mínimo (RM) e material mineral (MM).

Os valores relacionados à fertilidade do solo são esclarecidos nas Tabelas 4 e 5, pelo sistema de manejo adotado, com intensa adição de insumos. Já para os atributos físicos, esse grupo relacionou características que são utilizadas como indicativo de processo avançado de subsidência ou de degradação do solo.

Sendo assim, a análise multivariada também foi importante como ferramenta para a distinção dos manejos das áreas. Os valores encontrados e discutidos separadamente nos itens acima citados mostram que o manejo adotado na área de pastagem, de certa forma, propiciou a conservação do carbono orgânico. Enquanto que o manejo da área de mandioca se mostrou mais agressivo, causando maior degradação e diminuindo o estoque de carbono.

## 4.7 Emissão de Gases do Solo

Foi realizado um número pequeno de medições ao longo do ano em decorrência da dificuldade de locomoção e estadia nas proximidades das áreas avaliadas, assim como a distancia entre elas.

Os dados foram calculados e analisados perante a base dados de emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2077), para discussão utilizou-se uma comparação entre os valores obtidos em campo e os valores de referencia do IPCC. No entanto, essa comparação deve ser ponderada uma vez que o número de medições foi pequeno para afirmar o comportamento real de emissão dos gases durante o ciclo das culturas. Para tal haveria a necessidade de acompanhamento maior e com mais repetições, considerando o ciclo da cultura e diferentes safras. Porém, em se tratando de dados originais e da carência dessas informações registrada em literatura para Organossolos eles serão aqui apresentados.

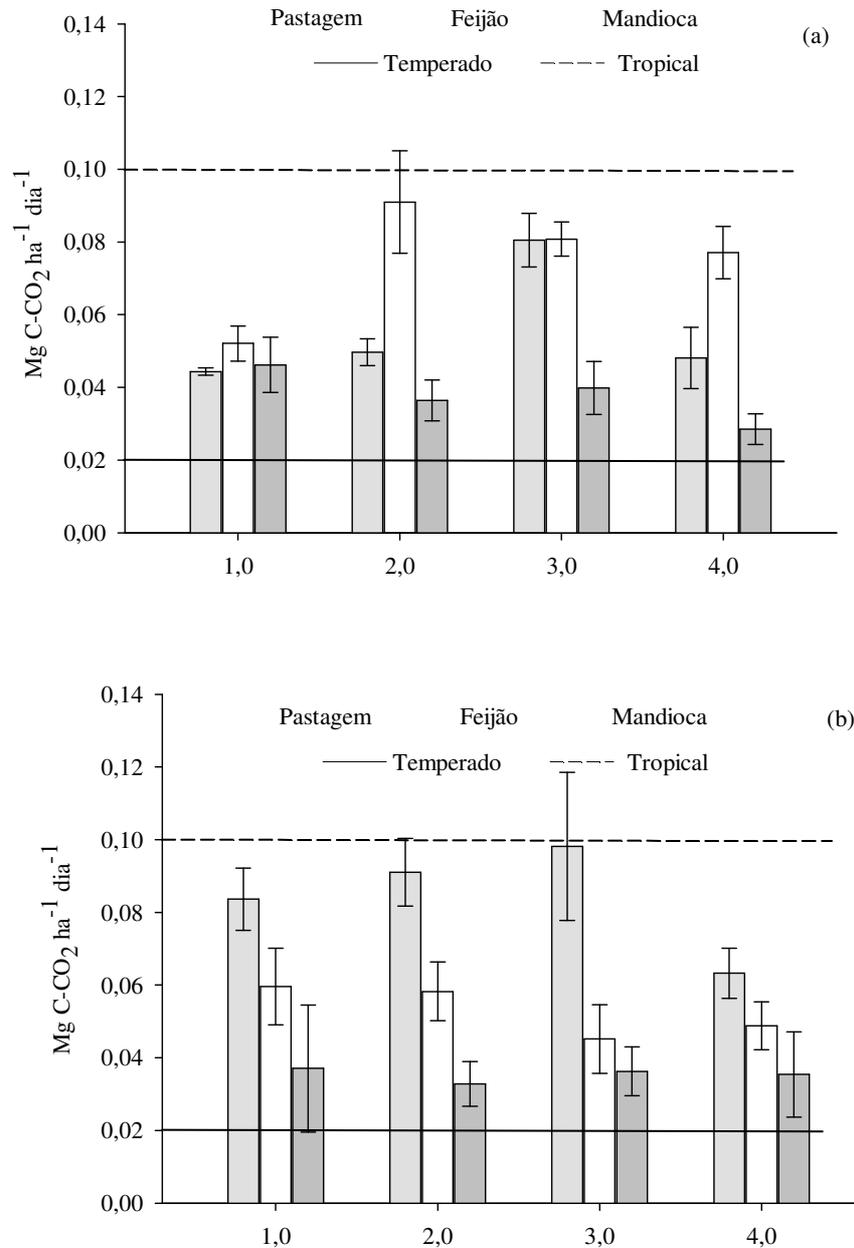
### 4.7.1 Emissão de CO<sub>2</sub> por Organossolo

O comportamento dos fluxos de emissão de CO<sub>2</sub> está representado na Figura 19. Conforme pode ser observado na primeira coleta o maior valor de emissão de CO<sub>2</sub> corresponde a 0,09 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, e ocorreu na área cultivada com feijão, sendo esta a de maior fluxo nos quatro dias de medição. Acredita-se que o fluxo de CO<sub>2</sub> foi maior pela adição dos resíduos da cultura de feijão (leguminosa fixadora de N<sub>2</sub>), com isso ocorreu diminuição da relação C:N, favorecendo a decomposição da MO pelos microorganismos aeróbicos, aumentando o fluxo de CO<sub>2</sub>.

Quando foi realizada a primeira coleta, a cultura de feijão se encontrava em estágio de maturação, com grande parte das folhas em senescência, tornando maior o aporte de N ao solo. Giacomine et al. (2008) também observaram tendência de emissões mais pronunciadas na fase pós adição de material vegetal ao solo, corroborando os valores aqui encontrados. Tal resultado pode estar ligado ao aporte de compostos orgânicos de fácil decomposição que, após a fase de adaptação da população microbiana ao substrato, são mineralizados. Durante esse processo ocorre ainda a emissão de CO<sub>2</sub> por respiração das raízes Giacomine et al. (2008).

Para a segunda coleta, os maiores valores de emissão de CO<sub>2</sub> foram observados na pastagem, que apresentou os maiores fluxos nos quatro dias de medição, com o fluxo mais elevado no terceiro dia (0,10 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>). Durante a segunda coleta, as áreas de feijão e mandioca já tinham sido colhidas e não havia mais liteira, possivelmente pela sua rápida decomposição, diferentemente da pastagem que estava com altura de 80 cm e liteira de 5 cm.

Dessa forma, grande proporção de biomassa foi continuamente introduzida no solo dando sequência ao processo de transformação da MOS. Além disso, o denso sistema radicular das gramíneas atuou intensificando a emissão de CO<sub>2</sub> no processo de respiração. Os fluxos de CO<sub>2</sub> oscilaram bastante durante as coletas, porém com tendência de valores mais elevados na segunda coleta.



**Figura 19.** Valores de emissão de C<sub>2</sub>CO<sub>2</sub> nos diferentes dias de coleta em função do manejo, primeira coleta (a) e segunda coleta (b). Os valores foram submetidos ao teste de Tukey (0,05>p). A linha tracejada é um indicativo de emissão em clima tropical e a linha cheia em clima.

De acordo com as referências bibliográficas utilizadas pelo IPCC (2007) a taxa de decomposição do material orgânico em clima tropical é considerada duas vezes maior do que em clima temperado. Como consequência, o fluxo de CO<sub>2</sub> emitido por solos orgânicos também é maior em clima tropical, variando na faixa de 0,02 Mg C<sub>2</sub>CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> em clima temperado a 0,10 Mg C<sub>2</sub>CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> em clima tropical. Os valores de fluxo de CO<sub>2</sub> encontrados neste estudo estão de acordo com os valores indicados pelo IPCC para Organossolos em regiões tropicais.

#### 4.7.2 Emissão de N<sub>2</sub>O por Organossolos

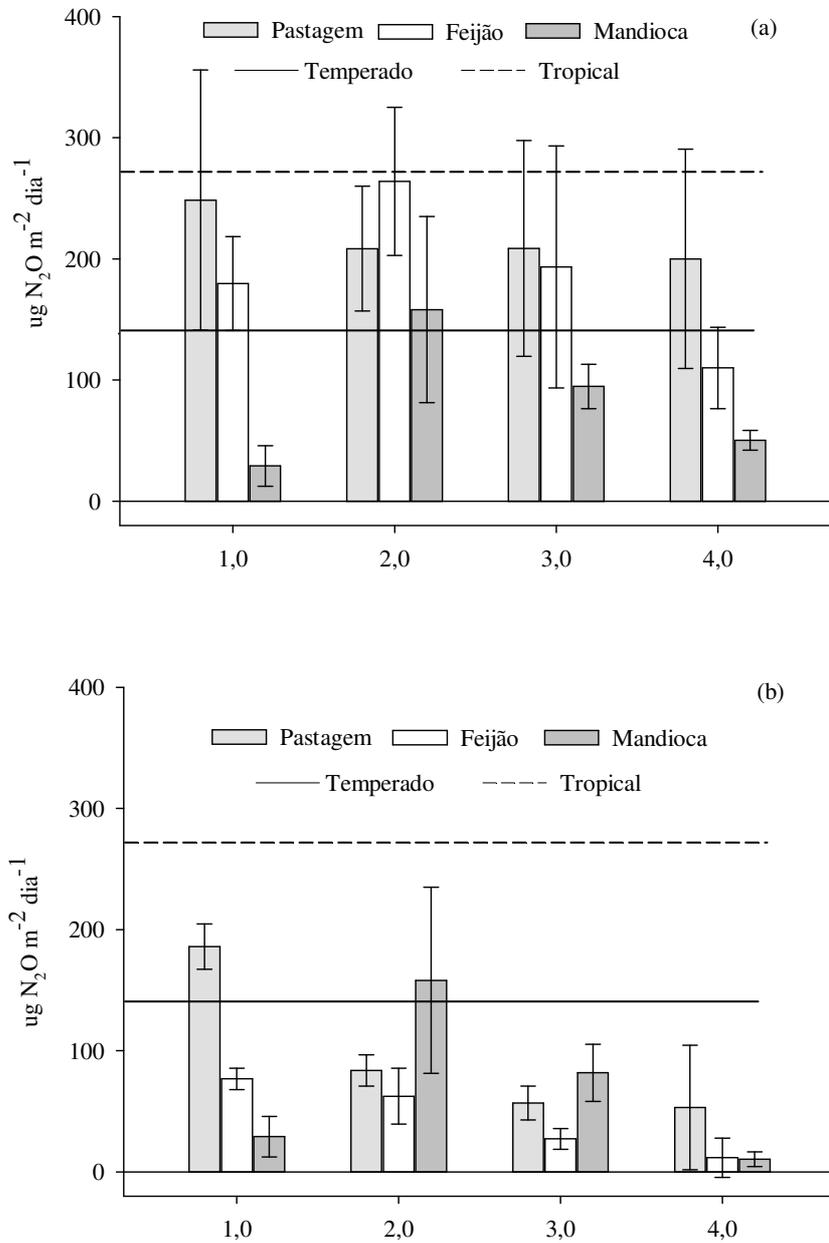
Conforme pode ser observado na Figura 20, para a primeira coleta o maior fluxo de N<sub>2</sub>O ocorreu na área com feijão, no segundo dia de experimento, com cerca de 270 µg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Porém, nos demais dias a área de pastagem obteve os maiores fluxos. As áreas de pastagem e feijão não diferiram significativamente, sendo maiores os valores no primeiro e no quarto dia do experimento, enquanto que a área de mandioca teve os menores valores. Para o segundo e terceiro dias não houve variação significativa entre as áreas. Possivelmente, esses valores altos estão relacionados na área de pastagem com a contínua adição de N pela urina do gado (Jantalia et al., 2006) e na área de feijão por se tratar de uma leguminosa em senescência contribuindo com adição de N ao solo.

Para a segunda coleta o maior fluxo de N<sub>2</sub>O ocorreu na área de pastagem, no primeiro dia do experimento, com valores de 180 µg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Porém, os valores não diferiram daqueles na área de feijão. No segundo e quarto dia não houve variação significativa entre as áreas. No terceiro dia, a área de mandioca apresentou maior emissão, juntamente com a área de pastagem e a área de feijão apresentou os menores fluxos.

O cultivo de solos orgânicos, de acordo com o IPCC (1997), aumenta a mineralização da matéria orgânica e libera óxido nitroso. A taxa de mineralização é determinada pela qualidade do N nesses solos, pelas práticas de manejo e pelas condições climáticas. A faixa de emissão para solos orgânicos cultivados varia de 2 a 8 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. O IPCC (1997) sugere fatores de emissão entre 5 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para os solos das regiões temperadas, e 10 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, nas regiões tropicais.

Ao analisar os dois valores extremos (mais alto, 270 µg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, primeiro dia, primeira coleta e mais baixo, 20 µg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, quarto dia, segunda coleta) comparados aos valores de referência para regiões tropicais indicados pelo IPCC, nota-se a super estimativa dos valores, pois apenas o mais alto correspondeu ao fator de emissão do IPCC, de 9,85 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Enquanto que o valor menor apresentou taxa de 0,73 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e todos os valores abaixo de 140 µg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> apresentam taxas menores que 5 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Possivelmente, a variação desses fluxos está relacionada às condições de temperatura e umidade, uma vez que há grande influência do clima na emissão do N<sub>2</sub>O. Os dados de temperatura e EPSA são apresentados no Anexo III.



**Figura 20.** Valores de emissão de  $N_2O$  nos diferentes dias de coleta em função do manejo adotado, primeira coleta (a) e segunda coleta (b). Os valores foram submetidos ao teste de Tukey ( $0,05 > p$ ). A linha tracejada é um indicativo de emissão em clima tropical e a linha cheia em clima.

## 5. CONCLUSÕES

A área cultivada com mandioca apresentou os maiores valores dos elementos do complexo sortivo, tanto para a primeira quanto para a segunda coleta, com destaque para os valores da segunda coleta, que mostraram a influência direta do manejo convencional com constantes aplicações de fertilizantes.

Os resultados mostraram que algumas propriedades físicas dos Organossolos podem ser utilizadas como indicadores de subsidência (Densidade do solo, Densidade da partícula, Material mineral, Resíduo Mínimo, Densidade da Matéria Orgânica). Nesse contexto, a área de mandioca apresentou grau mais avançado de subsidência, mostrando que o manejo está conduzindo a degradação do solo.

Os valores de matéria orgânica foram mais altos na área de pastagem, sendo considerado como o manejo que proporcionou melhor conservação da MOS. Os estoques de carbono e nitrogênio foram mais altos na área de pastagem, pelo maior aporte de material orgânico.

Dentre as substâncias húmicas, a humina foi a fração com maior expressão, indicada pelos altos teores de C-HUM. Independentemente do manejo das áreas e indiferente para cada área o padrão de distribuição da mesma foi semelhante a variação nos teores de MOS. Os valores baixos de C-FAF podem estar relacionados a alta solubilidade e mobilidade no solo dessa fração, sendo facilmente removida do perfil.

O agrupamento proporcionado pela análise multivariada destacou a separação das três áreas e apresentou boa significância, explicando 74,1% dos dados. A ferramenta se mostrou grande aliada para a avaliação do efeito do manejo sobre os Organossolos.

As emissões de C-CO<sub>2</sub> podem estar relacionadas à recente adição de material vegetal ao solo, sendo parte da mineralização da matéria orgânica somada ainda a fatores fisiológicos dos vegetais, como a respiração.

Embora os dados obtidos sejam inconclusivos pelo pequeno número de avaliações, os valores encontrados para emissão de C-CO<sub>2</sub> estão dentro da faixa de variação proposta pelo IPCC. O que indica que em Organossolos cultivados em regiões tropicais podem ser utilizados os parâmetros do IPCC. Já os valores de N-N<sub>2</sub>O encontrados foram menores que a taxa de emissão proposta pelo IPCC.

Em geral, a área cultivada com pastagem se destacou como a forma de manejo que causou menor alteração as propriedades edáficas dos Organossolos, dentre os tipos de uso avaliados.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Organossolos após a drenagem e quando cultivados estão sujeitos a alterações irreversíveis em seus atributos químicos, físicos e biológicos. Essas modificações fazem parte do processo de subsidência podendo resultar no desaparecimento da camada orgânica. Portanto, a intensificação desse processo pelo uso agrícola representa uma forma de acelerar a degradação irreversível dos Organossolos.

Os estudos de Organossolos são em parte dificultados pela falta de métodos adequados para esses solos com elevados teores de material orgânico. Pois as análises de solo são desenvolvidas para solos minerais e dificilmente não apresentam restrições quanto aos teores altos de MOS.

Em geral, os estudos em Organossolos são pontuais e desenvolvidos em regiões específicas, alguns são de caracterização de novas áreas ou ainda de suporte a classificação, sendo escassas pesquisas sobre o uso e impacto de práticas agrícolas.

Para efeito de ilustração não foram encontrados trabalhos de determinação de DMG em Organossolos, em ambientes tropicais semelhantes. Portanto, não foi possível comparar resultados aos obtidos nesse estudo.

Também, foram encontrados poucos estudos sobre emissão de gases em Organossolos em regiões tropicais, e os trabalhos retratam clima tropical diferente do existente no Rio de Janeiro, dificultando a comparação e validação dos dados obtidos e fortalecendo a necessidade de pesquisas nesse tema.

Os valores de C-CO<sub>2</sub> estão dentro da faixa de emissão proposta pelo IPCC, já os valores de N-N<sub>2</sub>O foram menores que a taxa proposta. Sendo assim, com base nas avaliações realizadas, acredita-se que pode ocorrer uma super estimativa quanto à emissão de óxido nítrico em Organossolos cultivados em regiões tropicais. Entre tanto, em decorrência do pequeno número de repetições os dados de emissão de gases devem ser vistos como norteadores, indicando a importância de mais pesquisas nesses solos sobre o tema de mudanças climáticas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, P.B. Origem das Brachiarias e suas características morfológicas de interesse forrageiro. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, L, Nova Odessa, 1986. Anais... Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, p.1-18, 1987.
- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, p.273-277, 1986.
- ANDRIESSE, J. Nature and management of tropical peat soils. Roma, FAO, 1988. 165 p. (Bulletin Soils, 59).
- ANDRIESSE, J. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. In: ANDRIESSE, J. (Ed.). SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS, Curitiba, Anais... Curitiba: MA/ Provárzeas Nacional, Embrater, SEAG - Paraná e Acarpa / Emater – Paraná, v.1, p.11-34, 1984.
- ANGULO, R.J.; ROLOFF, G.; SOUZA, M.L.P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.8, p.7-12, 1984.
- ARMENTANO T.V. & MENGES E.S. Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology*, v.74, p.755-774, 1986.
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, v.47, p. 151–163, 1996.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21, p.105-112, 1997.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. p. 7 (Embrapa Solos. Com. Técnico, 16)
- BOWDEN, R.D.; STEUDLER, P.A.; MELILO, J.M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soils in the northeastern united states. *Journal of Geophysical Research*, 95, p.13997-14005, 1990.
- BRADY, N.C. *Natureza e Propriedade dos Solos*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989, p.554.
- BREMNER, J. M.; BREINTENBECK, G. A.; BLACKMER, A. M. Effect of anhydrous ammonia fertilization on emission of nitrous oxide from soils. *Journal of Environmental Quality*, Madison; v. 10, p.77-80, 1981.
- BRUCE, J.P., FROME, M., HAITES, E., JANZEN, H., LAL, R. AND PAUSTIAN, K., Carbon sequestration in soils. *Journal Soil Water Conservation*, v.54, p.382–389, 1999.
- BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 15, n.1, p.13-24, 2000.
- CAMARGO, O. A., ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, p.132, 1997.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ A.C.; JORGE, J.A. e VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física do Instituto Agrônomo de Campinas. Instituto Agrônomo de Campinas, (Boletim técnico, 106), p. 94,1986.

- CARDOZO, S.V.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; RAVELLI, A. Caracterização de propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico e natural na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. *Semina. Ciências Agrárias*, v. 29, p.517-530, 2008
- CARMO, J.B.; KELLER, M.; DIAS, J.; CAMARGO, P.; CRILL, P. A source of methane from upland forests in the Brazilian Amazon. *Geophysical Research Letters*, 2006. 33p.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.527-538, 1998.
- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p.83-99, 2007
- CHENU, C.; BISSONNAIS, Y. & ARROUAYS, D. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 64:1479-1486, 2000.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgar Blucher, 188p, 1980.
- CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Agenda 21. Centro de Informações das Nações Unidas no Brasil/ Secretaria do Estado do Rio Ambiente. Rio de Janeiro. 1992. 243p.
- COELHO, M.R.; SANTOS, H.G.; SILVA, E.F.; AGLIO, M.L.D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JR., E. & PERES, J.R.R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p.1-11. 2002.
- CONAMA. Resolução n. nº 4 de 18 de setembro de 1985. Classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res04.pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2010
- CONAMA. Resolução nº 4 de 18 de setembro de 1985. Classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res04.pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2010.
- CONCEIÇÃO, M. *Natureza do húmus e caracterização de solos com elevado teor de matéria orgânica da região de Itaguaí - Santa Cruz, RJ*. 1989. 169f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1989.
- CONCEIÇÃO, M.; MANZATTO, C. V.; ARAÚJO W. S.; MARTIN NETO, L.; SAAB, S.C.; CUNHA, T. J. F.; FREIXO, A. A. Caracterização de solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro, propriedades físicas e morfológicas como subsídios à classificação. Rio de Janeiro: Pesquisa Andamento - Embrapa Solos, n.4, p.6.1999,
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:425-432, 1999.
- COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (CAST). *Climate change and greenhouse gas mitigation: Challenges and opportunities for agriculture*. Task Force Report No. 141. CAST, Ames, IA, USA, 2004. 120 p.
- COUTO, E. G. *Caracterização, gênese e uso de solos utilizados pelos agricultores do alto vale do Rio Arrojado, Bahia*. 1984. 119f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

- 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*, 26:913- 923, 2002.
- DAVIDSON, E.A.; KELLER, M.; ERICKSON, H.E.; VERCHOT, L.V. & VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soils emissions of nitrous and nitric oxides. *Bio Science*, 50:667-680, 2000.
- DOBBIE, K.E.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. *Global Change Biology*, Oxford, 9:204-218, 2003.
- DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, CD-ROM. 1997.
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 56, p. 2-54, 1996.
- DRIESSEN, P. M. Peat Soils. In: *Chemical and Electrochemical changes in rice soils*. International Rice Research Institute Philippines, p. 763 – 778. 1978.
- DUXBURY, J.M. The significance of agricultural greenhouse gas emissions from soil of tropical agroecosystems. In: LAL, R. (ed.) *Soil management and greenhouse effect*. Lewis Publications, Boca Raton, FL, 1995. p. 279-291.
- EBELING, A.G. Características estruturais da matéria orgânica em Organossolos Háplicos. 153f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010.
- EBELING, A.G. Caracterização analítica da acidez em Organossolos. Rio de Janeiro, 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, 67:261-266, 2008.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. EMBRAPA/SNLCS. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA/CNPS. Rio de Janeiro, 2006. 305p.
- EMBRAPA. SNLCS. Levantamento semidetalhado do município do Rio de Janeiro. RJ. Rio de Janeiro: EMBRAPA / SNLCS, 1980. 389 p. (Boletim técnico. 66).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. *Brachiaria brizantha* v. Marandu. Campo Grande, 1985. 31p. (EMBRAPA/CNPGC. Documentos, 21).
- EUROPEAN COMMISSION (Ed.). From land cover to landscape diversity in the European Union. Brussels, Belgium. 2000. 102p.
- FANNING, D.S. & FANNING, M.C.B. Soil morphology, genesis and classification. New York, John Willey & Sons, 1989. 395p.
- FAO Encyclopedia Britannica. Encyclopedia Britannica Online. 07 de setembro de 2010 < <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/707981/Histosol> >. 2010.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, São Carlos. Anais São Carlos: UFSCar. 2000. p.225-258. 2000.

FERREIRA, E. Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e desnitrificação biológica. In: Anais... CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA, CD, 2002

FIRESTONE, M.K.; DAVIDSON, E.A. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M.O.; SCHIMMEL, D.S. (ed.) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. John Wiley & Sons, New York. 1989.

FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; ZUCHELLO, F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SOARES, L. H. B. e ALVES, B. J. R. Variação diurna no fluxo de N<sub>2</sub>O do solo. In: FertBio - Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental, Anais... Guarapari. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM, 2008.

FONSECA, Aroldo Correia da; e SILVA, Edilsa Rosa; local.artigosinformativos.com.br/Analisando\_a\_efici%5C3%25Ancia\_dos\_fertilizantes\_Porto\_Alegre\_Rio\_Grande\_do\_Sul-r1216931-Porto\_alegre\_RS.html/images%3Fq%3Dnitrifica 2010

FONTANA, A. Fracionamento da matéria orgânica e caracterização dos ácidos húmicos e sua utilização no sistema brasileiro de classificação de solos. 2009. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

FONTANA, A. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica em solos do Brasil. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

FONTES, L.E.F. Gênese, morfologia e física do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. 5p. 2010

FREIRE, L.R. & ALMEIDA, D.L.; Fertilidade Do Solo. In: ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G. de A.; DE-POLLI, H.; CUNHA, L.H.; FREIRE, L.R.; SOBRINHO, N.M.B. Do A.; PEREIRA, N.N.C.; EIRE, P.A.; BLOISE, R.M. & SALEK, R.C. ;Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro. Itaguaí, Editora UFRRJ, 179p. 1988.

FRENEY, J. R. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht, v. 49, n. 1-3; p. 1-6, 1997.

GALVÃO, F.A.D. & VAHL, L.C. Calibração do método SMP para solos orgânicos. Revista Brasileira de Agrociências, v. 2, p.121-130, 1996.

GATTO, A.; NAIRAM F. DE B.; NOVAIS F. R.; SILVA I. R.; MENDONÇA E. S. VILLANI E. M. A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. Revista Brasileira de Ciência Solo, v.33, n.3, p.735-740, 2009.

GIACOMINI, S. J. AITA, C. & MIOLA, E.C.C. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. especial, p. 2661-2668, 2008.

GOMES, A. DA S. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul – Pelotas: Embrapa Clima Temperado.p.169, 2006. (Embrapa Clima Temperado, Série Documentos)

HADI A, INUBUSHI K, PURNOMO E, RAZIE F, YAMAKAWA K, TSURUTA H: Effect of land-use changes on nitrous oxide (N<sup>2</sup>O) emission from tropical peatlands. Chemosphere-Global Change Science, v.2, p.347–358, 2000.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.;ANT, D. & WOODWARD, R. Environmental indicators, a systematic approach to measuring and reporting on environmental

policy performance in the context of sustainable development. World Resources Institute, Washington, 52p. 1995

HORAK, I. Relações pedológica, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG. 282p. 2009. Tese de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2009

HUNGRIA, L. S. Solos de várzeas e algumas de suas propriedades. In: Aproveitamento de várzeas. Eds: FERREIRA, M.,E.; MONTEIRO, M. A. A.; MATUO, T.; TAMAKI, T. Jaboticabal, p.31-45, 1986.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007 <http://censos2007.ibge.gov.br/> acessado em novembro de 2010.

INCORA. Mapificación caracterización y clasificación de los suelos orgánicos del Valle de Sibundoy. Bogotá. Instituto Colombiano de la Reforma Agraria – INCORA, 148p. 1974.

INUBUSHI K, FURUKAWA Y, HADI A, PURNOMO E, TSURUTA H: Seasonal changes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in relation to land-use change in tropical peatlands located in coastal area of South Kalimantan. Chemosphere, v.52, p.603–608, 2003.

IPCC, Mudança do Clima: A Base das Ciências Físicas - Sumário para os Formuladores de Políticas, 2007. Disponível em: <[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/relatorio\\_ipcc/IPCCWGI.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/relatorio_ipcc/IPCCWGI.pdf)> Acesso em 03 de Agosto de 2009.

IPCC. Revised 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference Manual. 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>>. Acesso em 18 Fevereiro de 2010.

IPCC, TECHNICAL SUMMARY of the Working Group I Report, IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc.ch>. 2001.

IPCC: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Eds J Penman, D Kruger, I Galbally et al. IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama. 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>>. Acesso em 20 março de 2010.

JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H. P.; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Em Busca Da Mitigação Da Produção De Óxido Nitroso Em Sistemas Agrícolas: Avaliação De Práticas Usadas Na Produção De Grãos Do Sul Do País. IN: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (ED.). Manejo Dos Sistemas Agrícolas: Impacto No Sequestro De C e N Nas Emissões De Gases De Efeito Estufa. Porto Alegre: Genesis, p. 81-108. 2006.

KÄMPF, N. & SCHNEIDER, P. Caracterização de solos orgânicos do Rio Grande do Sul: Propriedades morfológicas e físicas como subsídios à classificação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 13: 227-236, 1989

KASIMIR-KLEMEDTSSON A, KLEMEDTSSON L, BERGLUND K, MARTIKAINEN P, SILVOLA J, OENEMA O Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. Soil Use Manage, 13, 245-250, 1997.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia – relação solo-planta. São Paulo: CERES, p.262. 1979.

KLAMT, E.; KAMPF, N.; SCHNEIDER, D. Solos de várzea no Estado do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia, 42p. (Boletim Técnico de Solos, 41), 1985.

KLUTE, A. Methods of Soil Analysis. Part I (second ed.), SSSA Press, Madison, USA, 544p. 1986.

- KONONOVA, M.M. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soilfertility. Pergamon, Oxford, 2nd English edition, 544 p. 1966.
- LAL, R. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70, 103-116, 2004.
- LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>- enrichment. *Soil Tillage Reshard*, 43:81-107, 1997.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environ. Pollut.*, 116:353-362, 2002.
- LAL, R.; FOLLET, R.F.; KIMBLE, J. & COLE, C.V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. *J. Soil Water Conservation*, 5:374-381, 1999.
- LEEMANS, R. Land use change and the terrestrial carbon cycle. *Newsletter*, v. 37, p.24 – 26, 1999.
- LEPSCH, I. F.; QUAGGIO, J. A.; SAKAI, E.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J.M.A. da S. Caracterização, classificação e manejo agrícola de solos orgânicos do vale do Rio Ribeira de Iguape, SP. Campinas: Instituto Agrônômico, 58p. (Boletim técnico, 131). 1990.
- LIMA, A.C.R.; HOOGMOED, W. & BRUSSARD, L. Soil quality assessment in rice production systems: Establishing a minimum data set. *Journal Environment Quality*, 37:623-630, 2008.
- LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. New York : Wiley-Interscience., 449 p. 1979.
- LINN, D.M., DORAN, J.W., Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. *Soil Science Society of America Journal*. 48, 1267–1272, 1984.
- LUCAS, R.E. Organic Soils (Histosols). Formation, distribution, physical and chemical properties and management for crop production. Michigan State University, Research Report No. 435 (Farm Science). 77p. 1982.
- LYN, W.C.; McKINZE, W.E.; GROSSMAN, R.B. Field laboratory tests for characterization of histosols. In: AANDAHAL, A.R. (Ed.) *Histosols: their characteristics, classification and use*. Madison : Soil Science Society of America, p.11-20, 1974.
- MACHADO, P.O. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, v. 28(2): 239-334, 2005.
- MCBRIDE, M.B. Environmental chemistry of soils. New York: Oxford University, 406 p. 1994.
- MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; ABER, J.D.; NEWKIRK, K.; LUX, H.; BOWLES, F.P.; CATRICALA, C.; MAGILL, A.; AHRENS, T. & MORRISSEAU, S. Soil warming and carbon cycle feedbacks to the climate system. *Science*, 298:2173-2176, 2002.
- MELLING L, HATANO R, GOH, KJ: Global warming potential from soils in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. *Phyton (Horn, Austria)*, 45(4), 275–284, 2005
- MELLO, W. Z. de; GOREAU, T. J.; Fluxos De Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) E Dióxido De Carbono (CO<sub>2</sub>) Em Solos de Remanescente da Floresta Atlântica no Sudeste do Brasil. *Geochimistry. Brasil*. V.12, n.1, p.17-27, 1998.
- MENDONÇA, M. M. Diagnóstico de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro. 1999. 195f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1999.

- MENDONÇA SANTOS, M. L.; SILVA, ENIO FRAGA DA; LUMBRERAS, JOSE FRANCISCO ; OLIVEIRA, RONALDO P. DE . Quantificação e Distribuição Espacial do Carbono Orgânico na Paisagem e em Perfis de Solos do Município do Rio de Janeiro. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Solos (Online), v. 39, p. 1-21, 2003.
- MESQUITA, L. F.; ZON, C.; ANDRADE, F. V. Atributos químicos como indicador de qualidade de solos orgânicos submetidos a diferentes tipos de uso e manejo XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba 2009
- MEURER, E. J. Fundamentos de Química do Solo. Porto Alegre: Ed. Gênese, 174 p. 2000.
- MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2. Ed. Atual e Ampliado. Lavras: Ufla, 729p. 2006.
- MULLER, F.; HOFFMANN-KROLL, R.; WIGGERING, H. Indicating ecosystem integrity-theoretical concepts and environmental requirements. Ecological Modeling, v. 130, p. 13-23, 2000.
- NASCIMENTO, P. C. Gênese dos solos hidromórficos do Estado do Espírito Santo, com ênfase na matéria orgânica e enxofre. 2004. 165f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROZ, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. (Eds.). Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 1017p, 2007.
- NYKÄNEN H.; ALM J.; LÅNG K.; SILVOLA J. AND MARTIKAINEN P. J. Emissions of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. Journal Biogeographic. 22, 351–357, 1995.
- OLDEMAN, L. R. The Global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D.J.; SZABOLCS, I. (Ed.) Soil resilience and sustainable land use. Wallingford: CAB International, p.99-118, 1994.
- PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Soil microbiology and biochemistry. 2.ed. New York: Academic Press, 340p. 1996.
- PEREIRA, M. G. ; EBELING, A. G. ; VALLADARES, G. S. ; ANJOS, L. H. C. dos ; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos com elevado teor de matéria orgânica. Bragantia, Campinas, v. 65, n. 3, p. 487-493, 2006.
- PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; VALLADARES, G.S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, Á.P.; CARDOSO, E.J. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. 4.ed. Viçosa v.4, p.233-276 , 2005.
- PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.713-720, 2002.
- PINHEIRO, E. F. M. ; PEREIRA, M. G. ; ANJOS, L. H. C. dos ; MACHADO, P. L. O. de A. . Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 731-737, 2004.
- PLIESKI, G. L. do A.; EBELING, A. G.; ANJOS L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S. Avaliação de métodos analíticos para determinar acidez em solos com alto teor de matéria orgânica. REVISTA UNIVERSIDADE RURAL v. 24, 15-21p n. 2, Julho-Dezenbro, Série Ciências da Vida, 2004.

PONS, L.J.; Soil genesis and classification of reclaimed peat soils in connection with initial soil formation. In: INTERNATIONAL CONGRESS IN SOIL SCIENCE TRANSACTION, 7, Madison ASSA/ SSSA, p. 205 – 211. 1960.

PP SYSTEMS, EGM-4 Environmental Gas Monitor For CO<sub>2</sub> Operator's Manual Version 4.11. [http://webh01.ua.ac.be/pleco/TECH/MANUALS/PPS/EGM4/EGM4\\_Operation\\_V411.pdf](http://webh01.ua.ac.be/pleco/TECH/MANUALS/PPS/EGM4/EGM4_Operation_V411.pdf) Acesso em: 09 de fevereiro de 2010.

PROVÁRZEAS. Relatório síntese dos estudos estratégicos sobre os setores florestal e agropecuário: manejo florestal da várzea. [www.ibama.gov.br/provarzea/download.php](http://www.ibama.gov.br/provarzea/download.php) . Acesso em: 02 de fevereiro de 2010.

RASSINI, J.B.; REIS, A.E.G.; MACEDO, J.; LEITE, J.C. Caracterização de várzeas na região dos cerrados. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 16p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 22). 1984.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceito, processo e aplicações. Barueri: Manole, 478p. 2004.

RESENDE, M, CURI, N. & SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo: Interações e aplicações. Piracicaba, MEC/ESAL/POTAFOS, 83p. 1988.

RITCHIE, G. A.; NICHOLAS, D. J. D. Identification of the sources of nitrous oxide produced by oxidative and reductive processes in *Nitrosomonas europaea*. *Biochemistry*, Dordrecht, v.126, p.1181-1191, 1972.

ROSADO, V. B. Solos orgânicos no sul do Estado do Espírito Santo: indicadores, uso e manejo. 75p. 2004 Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SAKAI, E. & LEPSCH, I.F. Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Pariquera Açú. Campinas, Instituto Agrônomo, 56p. (Boletim Técnico, 83), 1984.

SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds.). Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, cap.32, p.598. 2008.

SANTOS, H. G; COELHO, M. R.; ANJOS, L. H. C; JACOMINE, P. K. T.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; OLIVEIRA, J. B.; CARVALHO, A. P.; FASOLO, P. J. Propostas de revisão e atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 56p. (Embrapa Solos. Documentos; n. 53). 2003.

SANTOS, R.D. dos; LEMOS, R.C. de; SANTOS, H.G. dos; KER, J.C. e ANJOS, L.H.C. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, MG, SBCS, 5ª ed., 100p. 2005.

SCHOLES, M.C.; POWLSON, D. & TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. *Geoderma*, 79:25-47, 1997.

SILVA, A. C.; TORRADO. P. V.; ABREU JUNIOR, J. S. Métodos De Quantificação Da Matéria Orgânica Do Solo Universidade de Alfenas, ALFENAS, 5:21-26,1999

SILVA, E.B.; SILVA, A.C.; GRAZZIOTTI, P.H.; FARNEZI, M.M M.; FERREIRA, C.A.; COSTA, H.A.O. & HORAK, I. Comparação de métodos para estimar a acidez potencial mediante determinação do pH SMP em Organossolos da Serra do Espinhaço Meridional. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 32:2007-2013, 2008.

SIQUEIRA NETO, M. Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no cerrado em Rio Verde. 159p. 2006. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) Universidade de São Paulo/ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2006

- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; SÁ, J.C.M. & ALBRECHT, A. Soil carbon matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22: 755-775, 2002.
- SMITH J.L.; MYUNG, H.U. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for <sup>15</sup>N analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.21, p.2273-2279, 1990.
- SMITH KA; Greenhouse gas fluxes between land surfaces and the atmosphere. *Program Physical Geografic* 14:349–372, 1990.
- SMITH, K.A.; DOBBIE, K.E. The impact of sampling frequency and sampling times on chamber-based measurements of N<sub>2</sub>O emission from fertilized soils. *Global Change Biology*, 7:933-945, 2001.
- SMITH, P., D. MARTINO, Z. CAI, D. GWARY, H. JANZEN, P. KUMAR, B. MCCARL, S. OGLE, F. O'MARA, C. RICE, B. SCHOLE, O. SIROTKENKO,: Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p.44, 2007.
- SOIL SURVEY STAFF. *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 1442p. 2010.
- SOHI, S. Dynamic modeling of soil organic matter using physically defined fractions. *Soils. Soil Science Society of American Journal* 48 : 1267–1272
- SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. *Geoderma*, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.
- STEVENSON F.J., *Cycles of soil.*, John Wiley and Sons, Inc New York, 380p.1999.
- STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions.* John Wiley & Sons, Ic. USA. 443p. 1982.
- SULLIVAN, L.A. Soil organic matter, air encapsulation and water stable aggregation. *Journal Soil Science*, 41:529-534, 1990.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). *Methods of soil analysis.* Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, p. 1011-1020. (Soil Science Society of America Book Series, 5). Part 3. Chemical methods. 1996.
- TAKAKAI F, MORISHITA T, HASHIDOKO Y.: Effects of agricultural land-use change and forest fire on N<sub>2</sub>O emission from tropical peatlands, Central Kalimantan, Indonesia. *Soil Science Plants Nutrients.*, 52, 662–674, 2006.
- TAVARES, F. A "indústria verde": o meio ambiente como mercadoria. Disponível em: <http://www.marketing.com.br>. Acessado em 15 de novembro de 2004.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. (Boletim Técnico, 5) 1995.
- UFV. SAEG. Sistema de análise estatística e genéticas (Versão 9.0). Universidade Federal de Viçosa, UFRV. Viçosa, MG, 1997.
- VALLADARES G.S.; GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B.S; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. & BENITES, V.M. Análise dos componentes principais e métodos

- multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:285-296, 2008.
- VALLADARES, G. S. Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação. 2003. 129p. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.
- VAN BREEMEN, N.; BUBURMAN, P. *Soil Formation*. Kluwer Academy Pub. Dordrecht. 377p. 1998.
- VAN DEN BRINK P.J. & C.J.F. TER BRAAK. Principal response curves: analysis of time-dependent multivariate responses of biological community to stress. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18:138–148. 1999.
- VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:743-755. 2009.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-54. 2000.
- VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BEGGAR, J.W. Spatial variability of field measured infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*, v.45: 1040-1048. 1981.
- WATSON, R. T., RODHE, H., OESCHGER, H. AND SIEGENTHALER, U. 'Greenhouse gases and aerosols', in *Climate Change: the IPCC Scientific Assessment*, eds. J. T. Houghton, G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums, Cambridge University Press, Cambridge, 1-40. 1990.
- WEITZ, A.; LINDER, E.; FROLKING, S.; CRILL, P.; KELLER, M. N<sub>2</sub>O emissions from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 1077-1093, 2001.
- WOOMER, P. L.; PALM, C. A.; ALEGRE, J. C.; CASTILLA, C.; CORDEIRO, D. G.; HAIRIAH, K.; KOTTO-SAME, J.; MOUKAM, A.; RICSE, A.; RODRIGUEZ, V.; NOORDWIJK, M. VAN. Slash-and-burn effects on carbon stocks in the humid tropics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (Ed.). *Global climate change and tropical ecosystems*. Boca Raton: CRC Press, p. 99-115. 2000.
- YAMAGUCHI, T.; VARGAS, M. A. T.; LUCHIARI JUNIOR, A.; KOSUGE, N. Attempts to measure N<sub>2</sub>O using a Brazilian made chromatograph. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico do projeto nipo-brasileiro de cooperação em pesquisa agrícola nos cerrados 1987/1992. [Planaltina]: Embrapa-CPAC: p. 504-516, 1994.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of America Society Agronomy*, 28: 337-351, 1936.
- YOH M, TODA H, KANDA K, TSURUTA H Diffusion analysis of N<sub>2</sub>O cycling in a fertilized soil. *Nutrients Cycling Agroecosyst* 49:29– 33, 1997.
- ZON, C. Influencia de drenagem sobre solos orgânicos e parâmetros de qualidade de água. Estudo de caso: “Vale do Suruaca”, delta do Rio Doce. 2008. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008
- ZUCHELLO, F. Emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes: Impacto das adubações com vinhaça e uréia. 2010, 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

## 8. ANEXOS

### ANEXO I – Descrição dos Perfis de Solos

#### Perfil 1 (Pastagem)

DATA DA COLETA - 13/06/2007

#### CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico típico

LOCALIZAÇÃO – Fazenda da Saudade (Primus Ipanema Agropecuária), Macaé (RJ), as margens da BR 101 lado esquerdo sentido Macaé, rodovia BR 101, km 186; a cerca de 1 km da termoelétrica UTE Norte Fluminense. UTM 24k0202910/75322523. S-23°17'14,7" W-41°52'59,4".

SITUAÇÃO E DECLIVE – Trincheira em área plana de várzea, com declividade de 0 a 1%.

ALTITUDE – 10m.

MATERIAL DE ORIGEM E FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Depósitos turfáceos e sedimentos aluviais/colúviais. Holoceno / Quaternário.

PEDREGOSIDADE e ROCHOSIDADE - Ausentes.

RELEVO LOCAL - Plano

RELEVO REGIONAL – Plano e Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta higrófila de várzea e campo higrófilo.

USO ATUAL – Pastagem.

DESCRITO E COLETADO POR – Adierison Gilvani Ebeling, Ademir Fontana, Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Ted King, José Carlos de Moraes.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Hdp1 - 0-06 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido amassada); orgânica; granular e blocos subangulares; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Hdp2 - 06-17 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido amassada); orgânica, blocos subangulares; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Cg1 - 17-20 cm; bruno acinzentado (10YR 5/2, úmido amassada); muito argilosa; maciça; dura, firme, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

2Hbd1 - 20-32 cm; preto (10YR 2/1, úmido amassada); orgânica; maciça; dura, firme, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg2 - 32-38 cm; bruno acinzentado (10YR 5/2, úmido amassada), mosqueado proeminente vermelho-amarelo; muito argilosa; maciça; dura, firme, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

2Hbd1 - 38-56+ cm; preto (10YR 2/1, úmido amassada); orgânica; maciça; dura, firme, muito plástica e ligeiramente pegajosa.

**Observações** - Raízes abundantes e finas em Hdp1 e Hdp2; muitas raízes em Cg1 e Hbd3; poucas raízes finas em Cg2 e Hbd4. Lençol a 47 cm.

## **Perfil 2 (Feijão)**

DATA DA COLETA - 13/06/2007

### **CLASSIFICAÇÃO – ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico típico**

LOCALIZAÇÃO – Fazenda Ilha da Saudade (área experimental de produção de sementes em convênio com a Pesagro-RJ), Macaé (RJ), as margens da BR 101 lado direito sentido Macaé, km 186; a cerca de 1 km da termoeletrica UTE Norte Fluminense. UTM 24k0204180/7532591. S22°17'13.3" W 41°52'15,1".

SITUAÇÃO E DECLIVE – Trincheira em área plana de várzea, com declividade de 0 a 1%.

ALTITUDE – 5m.

MATERIAL DE ORIGEM E FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Deposição de sedimentos orgânicos e minerais. Holoceno / Quaternário.

PEDREGOSIDADE e ROCHOSIDADE - Ausentes.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano e Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado, com drenagem artificial

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta higrófila de várzea e campo higrófilo

USO ATUAL – Plantio de milho e feijão rotacionado.

DESCRITO E COLETADO POR – Adierson Gilvani Ebeling, Ademir Fontana, Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Ted King, José Carlos de Moraes.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Hdp1 - 0-10 cm; preto (10YR 2/1, úmida amassada); orgânica; moderada pequena granular; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Hdp2 - 10-20 cm; preto (10YR 2/1, úmida amassada); orgânica; maciça a fraca pequena granular; muito dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg1 - 20-28 cm; cinzento brunado claro (10YR 6/2, úmida amassada); muito argilosa; maciça; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.

2Hbd1 – 28-33 cm; preto (N 2/, úmida amassada); orgânica; moderada granular; solta, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e abrupta.

Cg2 - 33-39 cm; cinzento brunado claro (10YR 6/2, úmida amassada); muito argilosa; maciça; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.

2Hbd1 - 39-53 cm; preto (N 2/, úmida amassada); orgânica; aspecto maciço com fibras; solta, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

2Hbd2 - 53-71 cm; preto (10YR 2/1, úmida amassada); orgânica; aspecto maciço com fibras; solta, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

Cg3 - 71-80 cm; bruno acinzentado (10YR 5/2, úmida amassada); muito argilosa; maciça; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.

OBSERVAÇÕES - Lençol freático a 120 cm de profundidade, abaixo do qual existe outra camada de material orgânico que não foi possível amostrar.

### **Perfil 3 (Mandioca)**

DATA - 24/06/1998

#### **CLASSIFICAÇÃO - ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico**

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Rodovia Rio-Santos, BR 101, entrada próxima ao canal do São Francisco, propriedade do agricultor Shoji Tiba, no bairro de Santa Cruz, município do Rio de Janeiro, RJ.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em trincheira aberta com aproximadamente 1,5 x 1,5 x 1,5m em terreno plano, sob cultivo de mandioca.

ALTITUDE - Aproximadamente 10m

LITOLOGIA e MATERIAL ORIGINÁRIO - Sedimentos flúvio-marinhos e depósitos organogênicos sobrepostos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Sedimentos Quaternários

PERÍODO - Quaternário, Holoceno

PEDREGOSIDADE e ROCHOSIDADE - Não pedregosa e não rochosa

RELEVO LOCAL - Plano

RELEVO REGIONAL - Plano e suave-ondulado

EROSÃO - Não aparente

DRENAGEM - Muito mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta tropical de várzea e floresta tropical subperenifolia.

USO ATUAL - Cultivo de mandioca (Manihot esculenta)

CLIMA - Aw da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Lúcia Helena Cunha dos Anjos, Marcos Gervásio Pereira, Marcio Mattos de Mendonça, Carlos Eduardo G. Menezes, Luciano Toledo.

#### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Hdp1 0 - 15cm, preto (N 2,5/ , úmido) e cinzento muito escuro (N 3/ , seco); turfosa; moderada pequena a média granular; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Hdp2 15 - 34cm, preto (N 2/ , úmido) e cinzento muito escuro (N 3/ , seco); turfosa; fraca média 170 granular; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

H 34 - 50cm, cinzento muito escuro (N 3/ , úmido) mosqueado ao longo de canais de raízes comum pequeno distinto, vermelho amarelado (5YR 5/6, úmido); turfosa; material orgânico denso; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Hj1 50 - 70cm, cinzento muito escuro (N 3/ , úmido e seco) mosqueado ao longo de canais de raízes comum pequeno distinto, vermelho amarelado (5YR 5/6, úmido); turfosa; material orgânico denso; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara (66 - 75cm).

Hj2 70 - 98cm, cinzento muito escuro (N3/ , úmido e seco); turfosa; material orgânico denso, dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e clara.

Hj3 98 - 118cm+, cinzento (N 6/ , úmido); turfosa; material orgânico denso; muito dura, friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES - Muitas em Hdp1

OBSERVAÇÕES - Lençol freático alcançado na altura do horizonte Hj2. Horizonte Hdp2 apresenta aspecto endurecido devido à mecanização. Horizonte Hj1 apresenta quantidade de fibra > que H. Horizonte Hj2 apresenta quantidade de fibra > que Hj1 com fragmentos de troncos de 8 cm de diâmetro. Horizonte Hj3 apresenta quantidade de fibras > que Hj2.

## ANEXO II – Exemplo de Cálculo de Estoque

### - Equação Clássica

$$E_S = D_S * P * X$$

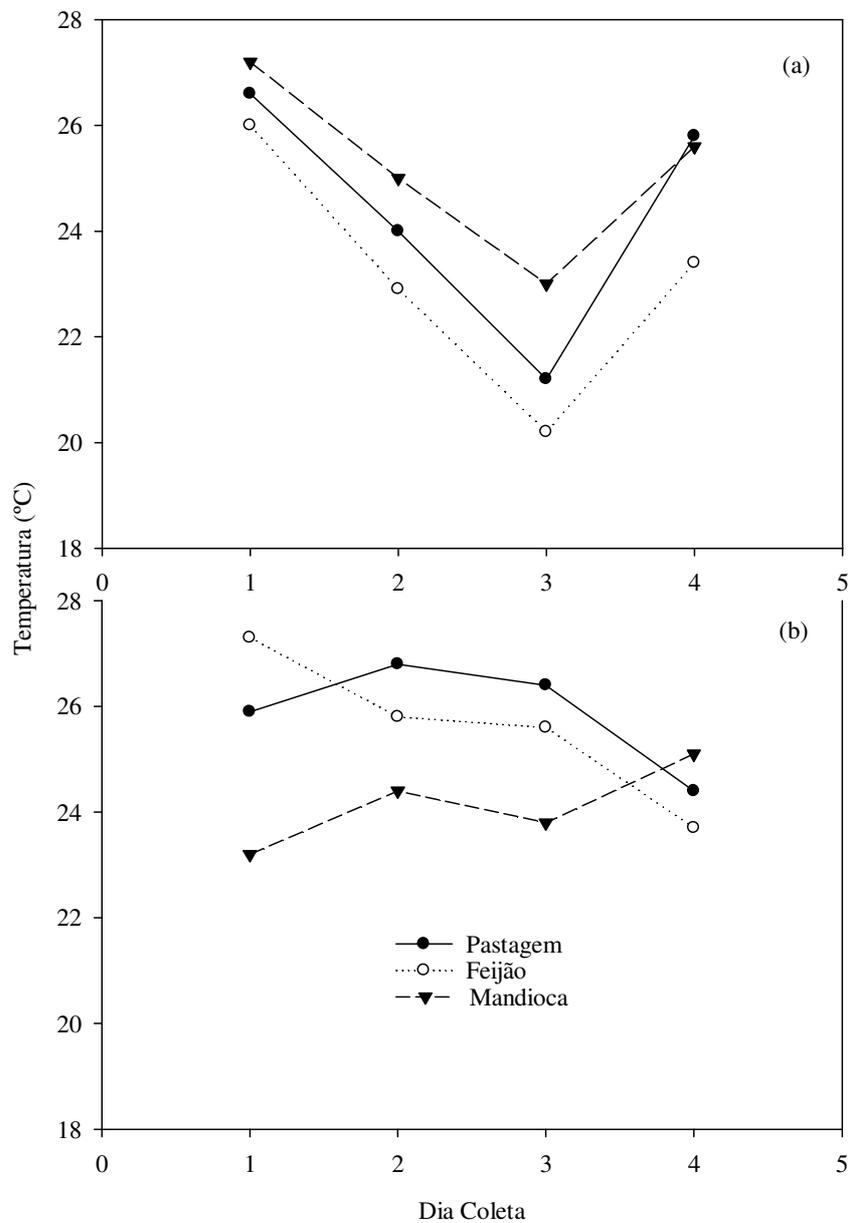
Resolução:  $E_{0-10} = ((0,68 * 10) * 17,2) = 116,96$

### - Correção da Massa de Solo

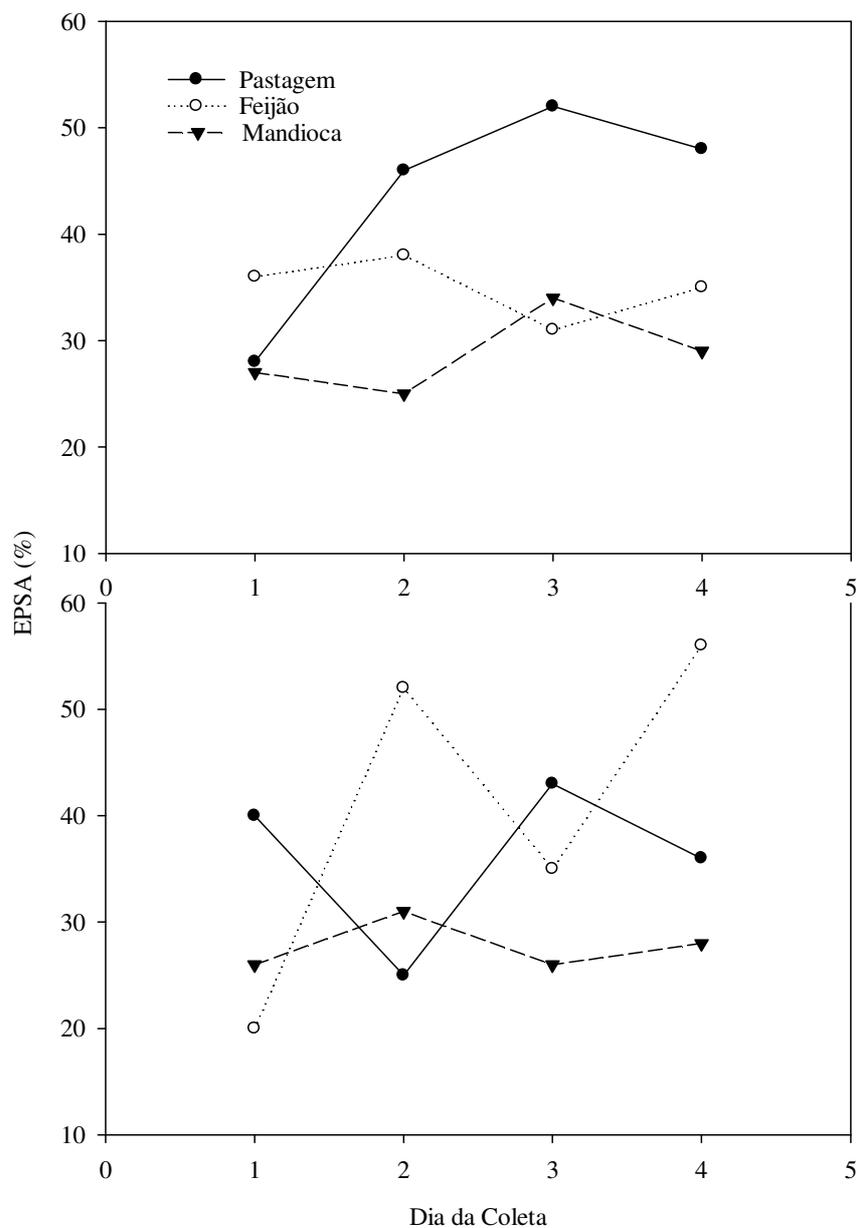
$$E_S = \sum_{i=1}^{n-1} X_{Ti} + \left[ M_{Tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] X_{Tn}$$

Resolução:  $E_{0-10} = 69 + [5 - (23,9 - 20,7)] * 15,1 = 96,18$

### ANEXO III – Temperatura e Espaço Poroso Saturado por Água.



**Figura 1 Anexo III.** Valores de temperatura nos diferentes dias de coleta em função do manejo adotado, primeira coleta (a) e segunda coleta (b).



**Figura 2 Anexo III.** Valores espaço poroso saturado por água - EPSA nos diferentes dias de coleta em função do manejo adotado, primeira coleta (a) e segunda coleta (b).