

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E**  
**FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE DE**  
**TABULEIROS COSTEIROS NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE, RJ.**

**Roberto Josino de Brito**

**2005**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE DE  
TABULEIROS COSTEIROS NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE, RJ**

**ROBERTO JOSINO DE BRITO**

Sob a Orientação do Professor

**Marcos Gervasio Pereira**

Dissertação submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Mestre em**  
**Ciências Ambientais e Florestais**, Área de  
Concentração em Conservação da Natureza

**Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2005**

## DEDICO

*Aos meus pais José Nabor & Mercedes.*

*Ao meu irmão Ricardo Josino e a sua esposa Tereza.*

*Aos meus sobrinhos Igor e Gabriel.*

*E a minha amiga e namorada Denise.*

## **Agradecimentos**

Ao professor e orientador Marcos Gervasio Pereira, que sempre acreditou em meu êxito, me apoiando na realização deste trabalho, juntamente com toda a equipe do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo do Instituto de Agronomia;

Aos companheiros neste trabalho: Arcângelo Loss e Giuliano Pinheiro de Arinele pelos esforços empregados nas árduas tarefas laboratoriais;

Ao Pesquisador Vinicius de Melo Benites da Embrapa Solos, por ter aberto as portas do Laboratório de Matéria Orgânica da Embrapa – Solos para que eu pudesse realizar parte das análises deste trabalho;

Aos professores dos Cursos de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais e de Agronomia – Ciência do Solo, pelos ensinamentos ao longo do curso;

Ao professor Alexandre Ravelli Neto e a pesquisadora Beata Eموke Madari pela contribuição na correção deste trabalho;

Aos amigos do Alojamento de Pós-Graduação pelos momentos memoráveis que passamos juntos durante parte desta trajetória;

Aos colegas de Graduação, Pós-Graduação pela colaboração nos trabalhos, nos estudos e pelo companheirismo;

Aos funcionários técnicos administrativos dos Institutos de Florestas, de Agronomia e do Departamento de Química da UFRRJ, pela fundamental contribuição;

Aos proprietários das fazendas, por terem nos concedido a coleta de material para esse estudo;

À CAPES pelo suporte financeiro durante a realização deste trabalho;

À minha mãe Mercedes Costa Brito que soube compreender a minha ausência, me apoiando e me incentivando sempre;

À Denise Ribeiro de Melo, pelo generoso companheirismo de sempre, pelas suas opiniões e incentivos, sem os quais não estaria escrevendo essas linhas;

À Rosana Colatino Soares Reis, pelos rotineiros e impagáveis auxílios em momentos estratégicos e pela empatia dos momentos finais desse trabalho;

Ao Marcelo Sêmola, pela sua imutável amizade que me incentiva a ir sempre a diante.

Ao Carlos Augusto Brandão de Carvalho, pela empatia nessa fase difícil da vida.

A todos que indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e Principalmente a Deus por me conduzir em todos os momentos.

## **Biografia**

Roberto Josino de Brito, filho de José Nabor da Silva Brito & Mercedes Costa Brito, nascido a 11 de junho de 1966 na cidade do Rio de Janeiro.

Em 1985 iniciou o curso de graduação em Tecnólogo em Processamento de Dados, na então Faculdades Reunidas Nuno Lisboa (FRNL), atual Faculdade da Cidade, no Recreio dos Bandeirantes (RJ). Ao longo do curso foi monitor do Centro de Processamento de Dados da FRNL, estagiário em programação de computadores na Petrobrás S.A. e Programador nível I na empresa Carioca Engenharia LTDA, mas seu desejo de trabalhar na área agrária o fez iniciar em 1991 o curso de Zootecnia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Nesse período foi monitor da disciplina de Técnicas em Processamento de Dados, bolsista de iniciação científica e participante ativo do Diretório Acadêmico de Zootecnia. Fez estágios em diversos setores do Instituto de Zootecnia da UFRRJ e em fazendas no Rio de Janeiro e Minas Gerais. Depois de formado trabalhou no Projeto Lumiar no Estado de Roraima, prestando serviços de assistência técnica, capacitação e extensão rural aos agricultores assentados de reforma agrária. Nesse período, percebeu a necessidade de ampliar seus conhecimentos na área das ciências agrárias e decidiu cursar Agronomia. Em 2000 pede reingresso na UFRRJ e, um ano após, inicia o curso de Especialização em Agronegócio na mesma instituição de ensino. Finalmente em 2003 realiza-se ao concluir sua terceira graduação como Engenheiro Agrônomo. Neste mesmo ano iniciou seu curso de Mestrado, sob orientação do professor Marco Gervasio Pereira e hoje aguarda a obtenção do seu grau de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

ROBERTO JOSINO DE BRITO

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Conservação da Natureza, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** Ambientais e Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 24 / 02 / 2005

---

Marcos Gervasio Pereira. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Alexandre Ravelli Neto. Prof. Dr. UFRRJ

---

Beata Eموke Madari Ph.D. EMBRAPA - Solos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1 Características dos Solos de Tabuleiros Costeiros</b> .....	3
<b>2.2 Matéria Orgânica e Agregação do Solo</b> .....	5
<b>2.3 Métodos de Avaliação da Matéria Orgânica do Solo</b> .....	6
<b>2.4 Qualidade do Solo</b> .....	8
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	12
<b>3.1 Localização da Área de Estudo</b> .....	12
<b>3.2 Clima</b> .....	13
<b>3.3 Solo e Relevo</b> .....	13
<b>3.4 Coberturas Vegetais</b> .....	14
3.4.1 Área de pastagem.....	14
3.4.2 Área de plantio de cana-de-açúcar.....	14
3.4.3 Área de floresta secundária.....	14
<b>3.5 Preparo das Amostras</b> .....	14
<b>3.6 Análises Físicas do Solo</b> .....	14
3.6.1 Composição granulométrica.....	14
3.6.2 Densidade do solo.....	15
3.6.3 Densidade das partículas.....	15
3.6.4 Volume total de poros.....	15
3.6.5 Distribuição dos agregados.....	15
3.6.6 Diâmetro médio ponderado.....	15
3.6.7 Diâmetro médio geométrico.....	15
3.6.8 Índice de sensibilidade.....	16
<b>3.7 Análises Químicas do Solo</b> .....	16
3.7.1 pH em água.....	16
3.7.2 Cálcio e magnésio trocáveis.....	16
3.7.3 Alumínio trocável.....	16
3.7.4 Acidez potencial.....	16
3.7.5 Carbono orgânico do solo.....	16
3.7.6 Carbono orgânico dos agregados.....	16
3.7.7 Nitrogênio total.....	17
3.7.8 Fósforo (P).....	17

3.7.9 Sódio e potássio.....	17
3.7.10 Valor S, T e V(%).....	17
<b>3.8 Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas do Solo.....</b>	<b>17</b>
<b>3.9 Extração e Purificação dos Ácidos Húmicos (AH).....</b>	<b>17</b>
3.9.1 Extração dos AH.....	17
3.9.2 Purificação dos AH.....	18
<b>3.10 Análises Espectroscópicas.....</b>	<b>18</b>
<b>3.11 Análises Termogravimétricas.....</b>	<b>19</b>
<b>3.12 Análise Elementar.....</b>	<b>19</b>
<b>3.13 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas.....</b>	<b>19</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Avaliação das Propriedades Edáficas dos Solos em Função da Cobertura Vegetal.....</b>	<b>20</b>
4.1.1 Composição granulométrica dos solos.....	20
4.1.2 Fertilidade dos solos.....	23
4.1.3 Densidade do solo.....	28
4.1.4 Densidade das partículas.....	29
4.1.5 Volume total de poros.....	30
4.1.6 Distribuição dos agregados e diâmetro médio ponderado.....	31
4.1.7 Diâmetro médio geométrico.....	35
4.1.8 Índice de sensibilidade.....	36
<b>4.2 Avaliação da Matéria Orgânica e suas Frações nos Solos em Função da Cobertura Vegetal e Classe de Solo.....</b>	<b>37</b>
4.2.1 Carbono orgânico do solo.....	37
4.2.2 Carbono orgânico dos agregados.....	40
4.2.3 Nitrogênio e fracionamento da matéria orgânica.....	42
4.2.4 Purificação das substâncias húmicas.....	47
4.2.5 Análises espectroscópicas e análise elementar (CHN).....	50
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>
<b>Apêndice I.....</b>	<b>64</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização aproximada da área de estudo no Município de Campos dos Goytacazes (RJ).....	12
<b>Figura 2</b> - Área de pastagem no Município de Campos dos Goytacazes (RJ).....	12
<b>Figura 3</b> - Área de plantio de cana-de-açúcar no Município de Campos dos Goytacazes (RJ).....	13
<b>Figura 4</b> - Área de floresta secundária no Município de Campos dos Goytacazes (RJ).	13
<b>Figura 5</b> - Composição textural do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas diferentes coberturas vegetais e classes de solos.....	21
<b>Figura 6</b> - Teores de argila nas diferentes profundidades, classes de solo e coberturas vegetais.....	22
<b>Figuras 7 e 8</b> - Classificação textural das áreas segundo classe de solo e cobertura vegetal.....	22
<b>Figura 9</b> - Densidade do solo (Ds) nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes.....	28
<b>Figura 10</b> - Densidade do solo (Ds) nas diferentes coberturas e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes.....	29
<b>Figura 11</b> - Densidade das partículas (Dp) nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes.....	30
<b>Figura 12</b> - Densidade das partículas (Dp) nas diferentes coberturas e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes.....	30
<b>Figura 13</b> - Volume Total de Poros (VTP) nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes.....	31
<b>Figura 14</b> - Volume Total de Poros (VTP) nas diferentes coberturas vegetais e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes.....	31
<b>Figura 15</b> - Distribuição das classes de agregados em Latossolos Amarelos sob diferentes coberturas vegetais e profundidades do solo.....	33
<b>Figura 16</b> - Distribuição das classes de agregados em Argissolos Amarelos sob diferentes coberturas vegetais e profundidades do solo.....	34
<b>Figura 17</b> - Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) nas diferentes classes e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes, RJ.....	34
<b>Figura 18</b> - Diâmetro médio ponderado (DMP) nas diferentes coberturas e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes.....	35
<b>Figura 19</b> - Diâmetro médio geométrico (DMG) nas diferentes coberturas e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes.....	36
<b>Figura 20</b> - Teor de carbono orgânico nas diferentes coberturas vegetais e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes, RJ.....	37
<b>Figura 21</b> - Teor de carbono orgânico nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes, RJ.....	38
<b>Figura 22</b> - Teor de carbono orgânico do solo nas diferentes coberturas vegetais, ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes, RJ.....	39
<b>Figura 23</b> - Teor de carbono orgânico nas diferentes classes de agregados e profundidades dos solos.....	40
<b>Figura 24</b> - Teor de carbono orgânico dos agregados nas diferentes coberturas vegetais e profundidades dos solos.....	41
<b>Figura 25</b> - Teor de carbono orgânico dos agregados nas diferentes ordens e profundidades dos solos.....	42

<b>Figura 26</b> - Correlação entre o índice diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) na profundidade de 0-5 cm e a fração humina (HU) em LA e PA.....	46
<b>Figura 27</b> - Correlação entre o índice diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) e a fração humina (HU) sob cobertura floresta, independente da classe e profundidade do solo.....	47
<b>Figura 28</b> - Correlação entre o índice diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) e a fração ácido húmico (AH) em LA e PA.....	47
<b>Figura 29</b> – Espectros de absorvância no infravermelho dos ácidos húmicos purificados e não purificados com HF+HCl 0,5% extraídos na profundidade de 0-5 cm de um Argissolo Amarelo sob cobertura de floresta secundária.....	49
<b>Figura 30</b> – Espectros de transmitância (%T) no infravermelho dos ácidos húmicos purificados com HF+HCl 0,5% extraídos na profundidade de 0-5 cm de um Latossolo Amarelo sob diferentes cobertura vegetais.....	53
<b>Figura 31</b> – Espectros de transmitância (%T) no infravermelho dos ácidos húmicos purificados com HF+HCl 0,5% extraídos na profundidade de 0-5 cm de um Argissolo Amarelo sob diferentes cobertura vegetais.....	54

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Carbono orgânico do solo, pH, P disponível e complexo sortivo sob diferentes coberturas vegetais, profundidades e classes de solos.....	25
<b>Tabela 2</b> - Caracterização analítica de propriedades químicas dos solos nas áreas estudadas, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm.....	26
<b>Tabela 3</b> - Caracterização analítica de propriedades químicas dos solos nas áreas estudadas, nas profundidades de 10-20 cm e 20-40 cm.....	27
<b>Tabela 4</b> - Valores de diâmetro médio geométrico (mm) nas diferentes ordens de solo e profundidades.....	35
<b>Tabela 5</b> - Índice de Sensibilidade nos diferentes tipos de coberturas vegetais.....	37
<b>Tabela 6</b> - COAGR ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas diferentes classes de agregados e ordens de solo.....	40
<b>Tabela 7</b> - Teores de N, frações da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico, em solos de tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais, na profundidade de 0-5 cm.....	43
<b>Tabela 8</b> - Teores de N, frações da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico, em solos de tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais, na profundidade de 5-10 cm.....	43
<b>Tabela 9</b> - Teores de N, frações da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico, em solos de tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais, na profundidade de 10-20 cm....	44
<b>Tabela 10</b> - Teores de N, frações da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico, em solos de tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais, na profundidade de 20-40 cm....	44
<b>Tabela 11</b> - Relação entre os teores de carbono na forma de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (AH/AF) em diferentes profundidades sob solos de tabuleiros.....	45
<b>Tabela 12</b> - Relação entre o extrato alcalino (ácidos fúlvicos mais ácidos húmicos) e a humina (EA/HU) em diferentes profundidades do solo.....	45
<b>Tabela 13</b> - Possíveis atribuições das bandas de absorção nos espectros de infravermelho observadas nas amostras de ácidos húmicos do solo.....	48
<b>Tabela 14</b> - Teores de cinzas encontrados nas amostras de ácidos húmicos não purificados e purificados dos Latossolos e Argissolos Amarelos sob diferentes coberturas vegetais.....	50
<b>Tabela 15</b> - Índices de hidrofobicidade (IH) e de condensação (IC) para as frações de ácidos húmicos da camada de 0-5 cm em diferentes classes de solos e coberturas vegetais.....	55
<b>Tabela 16</b> - Análise elementar e razões atômicas de ácidos húmicos extraídos de Latossolos e Argissolos Amarelos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais.....	55

## Resumo

**BRITO, Roberto Josino de. Indicadores de Qualidade do solo em Ambiente de Tabuleiros Costeiros na Região Norte Fluminense, RJ. Seropédica. UFRRJ, 2005 (Dissertação, Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Conservação da Natureza).**

“Tabuleiros Costeiros” é o termo utilizado para designar a feição geomorfológica ou forma de superfície do tipo tabular que pode ser observada ao longo de praticamente toda a faixa costeira do Brasil, desde o Rio de Janeiro até o Amapá. No RJ os solos de tabuleiro têm sua maior expressão na região Norte Fluminense. Este trabalho foi realizado no Município de Campos dos Goytacazes – RJ. Os solos selecionados foram Latossolos (LA) e Argissolos (PA) Amarelos por serem considerados os principais solos do ecossistema dos tabuleiros, caracterizam-se como profundos, ácidos, álicos, com baixa CTC e presença de horizontes coesos. Trabalhos na literatura têm demonstrado o efeito da matéria orgânica do solo (MOS) nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A MOS influencia na melhoria da estrutura, aeração e retenção de umidade do solo. O plantio convencional contribui de forma acentuada para a degradação dos estoques orgânicos do solo, promovendo grande impacto em sua estrutura, e por conseqüência, intensas perdas da MOS por mineralização e erosão. O objetivo geral desse projeto é o estudo da matéria orgânica e da agregação do solo em relação aos diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal, visando contribuir no desenvolvimento de estratégias para uma utilização sustentável dos solos na região agrícola dos tabuleiros do Estado do Rio de Janeiro. Foram selecionadas três áreas experimentais com coberturas vegetais distintas (pasto, cana-de-açúcar e floresta secundária) sobre LA e PA. As amostras de solo foram coletadas em intervalos de profundidade de 0-5 cm, de 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. Para cada cobertura vegetal foram feitas cinco repetições em diferentes localidades. Foram realizadas análises físicas e químicas do solo. Para a análise da MOS foi utilizado o método do fracionamento químico e caracterização através do Infravermelho (IV), Ultravioleta (UV-visível), CHN e Termogravimetria. Os resultados elevados de densidade do solo nas camadas superficiais se apresentam como um indicador de alteração antrópica dos solos. Os índices de DMP e DMG quando associados aos valores de carbono orgânico, revelaram o efeito negativo do manejo nas áreas com cultivo. O índice de sensibilidade identificou a ordem PA como a de menor grau de degradação. Os níveis encontrados de carbono orgânico e o valor T nos horizontes superficiais indicaram que a fertilidade desses solos depende da manutenção da MOS. As relações AH/AF e EA/HU revelaram diferenças entre as ordens de solo quanto a iluviação da matéria orgânica humificada. O uso de HF+HCL no processo de purificação das substâncias húmicas foi eficiente na desmineralização de ácidos húmicos do solo. Através da análise de IV não foi possível perceber diferenças significativas entre as ordens de solos nem entre as coberturas cana e pasto, provavelmente, devido ao efeito da textura arenosa dos solos. Os valores dos índices de hidrofobicidade e condensação apresentaram pequena variação entre as ordens de solo e coberturas vegetais. Entretanto, cana-de-açúcar apresentou maior grau de humificação sugerindo a participação do fogo no processo de gênese e transformação das substâncias húmicas.

Palavra-chave: matéria orgânica, manejo do solo, tabuleiros costeiros.

## Abstract

**BRITO, Roberto Josino de. Indicators of Quality of the soil in environment of Coastal tableland in the Fluminense North Area, RJ. Seropédica. UFRRJ, 2005 (Dissertation, Master in Environmental and Forest Sciences, Area of Conservation of the Nature).**

“Coastal tableland” is the term used to designate the feature geomorphology or form of surface of the type to tabulate that it can be observed along practically the whole coastal strip of Brazil, from Rio de Janeiro to Amapá. In RJ Coastal tableland soils have largest expression in the Fluminense North area. This work was accomplished in the Municipal district of Campos of Goytacazes - RJ. The selected soils were Latossolos (LA) and Argissolos (PA) Amarelos for the main soils of the ecosystem of the boards be considered, they are characterized as deep, acids, alics, with low CTC and presence of hardsetting horizons. Citations in the literature have been demonstrating the effect of the organic matter of the soil (SOM) in the physical properties, chemistries and biological of the soil. The SOM it influences in the improvement of the structure, aeration and retention of humidity of the soil. The conventional planting contributes in way accentuated for the degradation of the organic stocks of the soil, promoting great impact in the structure, and for consequence, intense losses of the SOM for mineralização and erosion. Three experimental areas were selected with different vegetable coverings (pasture, sugarcane and secondary forest) on LA and PA. The soil samples were collected in intervals of 0-5 cm, of 5-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm depth. For each vegetable covering they were made five repetitions in different places. The general objective of that project is the study of the organic matter and of the aggregation of the soil in relation to the different handling systems and vegetable covering, seeking to contribute in the development of strategies for a maintainable use of the soils in the agricultural area of the tablelands of the State of Rio de Janeiro. Physical and chemical analyses of the soil were accomplished. For the analysis of the SOM it was used the method of the chemical division and characterization through the Infrared (IV), Ultraviolet Visible (UV-visible), CHN and Thermometric. The high results of density of the soil in the superficial layers come as an indicator of alteration of the soils. The indexes of DMP and DMG when associates with organic carbon, revealed the negative effect of the management in the areas with cultivation. The sensibility index identified the order PA as the one of smaller degradation degree. The found levels of organic carbon and the value T in the superficial horizons indicated that the fertility of those soils depends on the maintenance of the SOM. The relationships AH/AF and EA/HU revealed differences among the soil orders as the iluviação of the humics matter organic. The use of HF+HCL in the process of purification of the humics substances was efficient to remove mineral residues of humics acids of the soil. Through the analysis of IV it was not possible to notice significant differences among the soils nor between the coverings cane and pasture, probably, to the effect of the sandy texture of the soils. The values of the hydrophobic indexes and condensation presented small variation between the soil orders and vegetable coverings. However, sugarcane presented larger humification degree suggesting the participation of the fire in the genesis process and transformation of the humics substances.

Key word: organic matter, soil management, coastal tableland.

## 1. INTRODUÇÃO

Os efeitos da mudança no meio ambiente provocados pela ação do homem são observados de diversas formas. As de mais fácil percepção são aquelas onde se promove modificação brusca na paisagem como a alteração da vegetação natural, tanto da remoção da floresta, quanto do plantio de novas espécies para fins exploratórios. No entanto, nem todas as mudanças drásticas nos ambientes são tão facilmente perceptíveis. Muito dos aspectos funcionais e estruturais presentes num solo alterado, podem sofrer modificações de forma discreta, porém constante e algumas vezes definitivas.

O solo possui diversas funções no ambiente, como: filtração da água percolante, imobilização e transformação de substâncias e reservatório de nutrientes, sendo todas bastante dependentes do estado de agregação do solo. A transformação do ambiente provocada pela ação humana, quase sempre, gera como consequência a alteração do estado de agregação do solo em diversos níveis. A substituição da vegetação nativa para uso intensivo em monocultivos, modifica significativamente as propriedades físicas do solo concorrendo para a degradação das terras. O uso e o manejo inadequados do solo causam, sobretudo em climas tropicais, uma progressiva destruição das suas propriedades naturais, erosão e perda de produtividade das lavouras, além de danos ao meio ambiente.

Na região Norte Fluminense (RJ), onde encontra-se o município de Campos dos Goytacazes era, a outrora, ocupado por floresta característica das áreas de tabuleiros que apresenta uma grande variação ecológica desde as áreas mais litorâneas até as encontradas em elevação interiorana, em alguns casos, se distinguindo das demais formas de mata atlântica encontradas na faixa litorânea brasileira, apresentando variações próprias aos tabuleiros costeiros. Atualmente, a vegetação nativa se restringe a pequenos fragmentos de florestas secundárias que concorrem, em grande parte, com o cultivo da cana-de-açúcar e pastagens.

Nos anos setenta a agroindústria canavieira estimulada pelo Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL) explorou de forma intensiva os solos da região norte fluminense alcançando uma parcela significativa da produção nacional de Alcool. Atualmente, na região observam-se índices produtivos de cana inferiores aos da média nacional e a área plantada com cana sobre solos de tabuleiros foi reduzida em cerca de 50%, sendo ocupada principalmente pelas pastagens. Os motivos da queda da produtividade parecem estar associados à degradação do solo. A textura arenosa dos horizontes superficiais da maioria desses solos, os baixos níveis de matéria orgânica e a presença de um adensamento natural em profundidade os tornaram suscetíveis à erosão, mesmo quando localizados em relevo plano. Além da perda do potencial produtivo desses solos, em consequência da degradação, a erosão vem acarretando o assoreamento dos recursos hídricos, gerando prejuízos a usinas de produção de energia hidrelétrica, ao sistema de drenagem das cidades e rodovias e aos ecossistemas aquíferos.

Trabalhos na literatura têm demonstrado o efeito da matéria orgânica do solo (MOS) nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Do ponto de vista agrícola, a MOS atua como fonte primária e reserva de nutrientes para as plantas, controle da temperatura do solo, influencia na melhoria da estrutura, aeração e retenção de umidade do solo. Os efeitos da presença de MOS possuem maior importância em solos mal estruturados, de baixa fertilidade, ácidos e com presença elevada de alumínio como normalmente são os solos de tabuleiros.

Os objetivos desse trabalho são caracterizar as áreas quanto ao grau de degradação do solo através de análises da matéria orgânica e seus efeitos na estabilidade

dos agregados dos solos da região do município de Campos dos Goytacazes – RJ, e relacionar algumas propriedades dos solos como indicadores do grau de degradação das terras sob diferentes coberturas vegetais e formas de uso do solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Características dos Solos de Tabuleiros Costeiros.

“Tabuleiros Costeiros” é o termo utilizado para designar a feição geomorfológica ou forma de superfície do tipo tabular que pode ser observada ao longo de praticamente toda a faixa costeira do Brasil, desde o Rio de Janeiro até o Amapá. Estão relacionados com os sedimentos da Formação Barreiras (Grupo Barreiras no Estado de Pernambuco) do período Terciário (últimos 65 milhões de anos). Algumas áreas apresentam topografia tabular dissecada por vales profundos de encostas com forte declividade. Outras áreas apresentam relevos suaves ondulados, ondulados ou até fortemente ondulada com elevações de topos planos (chãs). Na faixa litorânea prevalecem altitudes de 20 a 220 metros. Há uma estimativa de que as áreas de tabuleiros no Brasil abrangem 20 milhões de hectares (JACOMINE, 1996; REZENDE, 2000). No Estado do Rio de Janeiro os solos de tabuleiro têm sua maior expressão na região Norte Fluminense, compreendido principalmente nos municípios de São Francisco de Itabapoana e parte de Campos dos Goytacazes.

Os principais solos do ecossistema dos tabuleiros (Latosolos Amarelos e Argissolos Amarelos) caracterizam-se como profundos, ácidos, álicos, com baixa capacidade de troca catiônica e presença de horizontes coesos (JACOMINE, 1996; RIBEIRO, 1998; REZENDE, 2000; NASCIMENTO, 2001; e LIMA et al., 2004). O termo coeso tem sido utilizado com significado de tenaz (REZENDE, 2000) para caracterizar horizontes minerais subsuperficiais do solo que apresentam aumento de coesão entre as suas partículas, tornando-se duro, muito duro ou extremamente duro quando seco e friável quando úmido (JACOMINE, 1996). A densidade do solo desse horizonte é maior que os horizontes subjacentes e não apresentam uma organização estrutural visível, são maciços (EMBRAPA, 1999). Os solos com essas características são denominados no Brasil como “solos coesos” ou “solos com horizontes coesos” (LIMA et al, 2004).

No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), o caráter coeso já foi incluído como característica diagnóstica atribuída somente à classe dos Latossolos Amarelos do 3º nível categórico (EMBRAPA, 1999). Embora o SiBCS considere o termo “coeso” somente para a classe dos Latossolos Amarelos, há ocorrências da presença desse comportamento em horizontes subsuperficiais em Argissolos Acinzentados e Argissolos Amarelos (JACOMINE, 2001).

Na Austrália, o atributo relacionado à consistência há muito foi incorporado em seu sistema de classificação através do termo *hardsetting*. A hipótese para a relação entre os solos coesos dos tabuleiros costeiros e comportamento *hardsetting* encontrado na Austrália, África e outros países tropicais, pode ser constatada através de uma série de coincidências químicas, físicas e mineralógicas, se tratando possivelmente de solos com mesmo tipo de comportamento, mas que receberam denominações distintas (GIAROLA & SILVA, 2002).

Rezende (2000), comenta que a origem dos horizontes coesos dos principais solos dos tabuleiros ainda é assunto polêmico, podendo estar associado a vários processos, como: presença de compostos orgânicos pouco polimerizados, perda de argila para camadas subjacentes (argiluviação), ferro e argila dispersa nos microporos, e pelo adensamento resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem. Ribeiro (2001), atribui a ocorrência de horizontes coesos a processos iniciados com a formação dos solos, processos geomorfológicos. Alguns autores relacionam essa característica a uma cimentação temporária, causada pela



presença de agentes cimentantes, que se desfaz quando são umedecidos (LIMA, 2004). Outro processo seria a obstrução dos microporos por migração de materiais finos para horizontes inferiores do solo (RIBEIRO, 2001) ou, também, o ajuste face a face das argilas provocando um aumento na densidade do solo (FERREIRA et al, 1999).

Dos problemas relacionados ao caráter coeso pode-se citar a elevada resistência à penetração radicular influenciando no desenvolvimento das plantas, aeração e drenagem do solo, disponibilidade de água e nutrientes, temperatura do solo, presença de microorganismos e como um inibidor físico com reflexos negativos na produção agrícola (RESENDE, 1997; JACOMINE, 2001; LIMA, 2004). As características de distribuição e arquitetura dos poros do solo regulam o crescimento das raízes das plantas, as trocas gasosas entre o solo e atmosfera, a difusão de nutrientes, e a dinâmica de retenção e transmissão da água. Essa habilidade do solo em interferir na regulação no crescimento e desenvolvimento das plantas depende do tipo, da forma, e da estabilidade dos agregados e dos poros criados por eles. Por esta razão, a profundidade em que as camadas duras (coesas) aparecem no solo determinará a importância agrícola do mesmo (REZENDE, 2000).

A fertilidade dos solos de tabuleiros é geralmente baixa com ocorrências de solos ácidos a fortemente ácidos, contém alumínio trocável e predomínio de solos com caráter álico (saturação por alumínio igual ou maior que 50%) e em menor proporção de solos distróficos (saturação por bases e por alumínio menores que 50%). Os teores de potássio e fósforo são baixos nesses solos e a matéria orgânica é a principal reserva de N e a responsável por grande parte da CTC (JACOMINE, 1996).

Quanto às propriedades químicas, são solos que apresentam baixos teores de óxidos, com valores de  $Fe_2O_3$  normalmente menores que 7% que associados a uma capacidade de troca catiônica (CTC) baixa, tornam esses solos muito suscetíveis a perdas de partículas coloidais da parte superficial do solo para os horizontes subsuperficiais (JACOMINE, 2001). Além disso, a textura arenosa auxilia o aumento do potencial para perda de íons de elevada mobilidade no solo (SALCEDO, 2001). Portanto, é essencial nestes solos o manejo da matéria orgânica, além da necessidade de correção da acidez e adição, pelo menos, dos macronutrientes, para que as culturas agrícolas apresentem um resultado satisfatório (BARRETO & FERNANDES, 2001).

Os solos coesos dos tabuleiros têm demonstrado, que quando bem manejados atingem grande produtividade conforme verificado para culturas como eucalipto, citros, cana-de-açúcar e outros. Por isso, há necessidade de se desenvolver práticas adequadas de manejo, procurando fazer estudos integrados de solo clima e planta, considerando os problemas da baixa fertilidade, presença de alumínio, associados com as limitações impostas pelas propriedades físicas (JACOMINE, 2001).

Os solos coesos de tabuleiros costeiros apresentam características próprias e necessitam de medidas apropriadas ao seu uso, pois ocupam uma importante área sócio-econômica no país e apesar de apresentarem características favoráveis a mecanização e situar-se em uma posição geográfica que favorece o escoamento da produção agrícola, estes vem sofrendo uma redução drástica na sua produtividade, principalmente devido ao manejo dos solos (ANJOS et al., 1995).

Nesse sentido, Barreto & Fernandes (2001) apresentam recomendações para uso de plantas em consorciação, sucessão ou rotação com as culturas, como forma de proteção superficial do solo e a manutenção e melhoria das suas características físicas, químicas e biológicas através da manutenção e aumento dos teores de MOS.

## 2.2 Matéria Orgânica e Agregação do Solo

Nos últimos anos, o estudo da matéria orgânica tem ganhado destaque devido a crescente preocupação existente com a qualidade do meio ambiente. Essa preocupação incentivou o estudo da matéria orgânica devido ao seu papel decisivo em diversos aspectos relacionados ao solo e à água (BRONICK & LAL, 2005).

A produção vegetal e a atividade microbiana são os dois principais processos biológicos responsáveis pelas entradas e saídas da matéria orgânica dos solos (MOS). Esse balanço do carbono orgânico do solo (COS) é controlado por fatores bióticos e abióticos. O clima, o material de origem, a fauna do solo, o relevo e o tempo são os fatores que mais controlam a produção e decomposição da MOS. Dentre estes, o clima, material de origem e a vegetação são os que mais se distinguem entre regiões temperadas e tropicais (SIX et al. 2002).

A MOS constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre. Este reservatório é dinâmico, podendo variar em decorrência de práticas de manejo (BAYER & MIELNICZUK, 1997). Na maioria dos solos, o teor de MOS varia de 0,5 a 5,0% nos horizontes minerais, podendo ser mais elevados nos Organossolos. Apesar de estar proporcionalmente em menor quantidade em comparação a fração mineral, a MOS é importante para os sistemas agrícolas devido a seu efeito nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (FALLEIRO et al., 2003; MEURER, 2004).

A MOS possui alta reatividade, isso faz com que ela consiga regular a atividade de metais pesados e de elementos fitotóxicos, como a do  $Al^{3+}$  em solos ácidos, bem como a disponibilidade de vários nutrientes essenciais (Cu, Mn, Zn, N, S, P entre outros), disponibilizáveis através do processo de mineralização. Estes são fortemente dependentes da suscetibilidade de diferentes compostos orgânicos ao ataque de microorganismos e a proteção física, principalmente àquela ligada à fração argila (MEURER, 2004).

Os compostos orgânicos participam das ligações entre as diversas partículas individualizadas do solo como agentes cimentantes das unidades estruturais. Diversos estudos em solos tropicais têm demonstrado uma forte relação entre COS e agregação (acresção). A formação de agregados pode ocorrer pela acresção ou pela fragmentação da massa do solo. O termo acresção se refere geralmente a agregados pequenos, constituídos pelas partículas fundamentais do solo (areia, silte e argila). A fragmentação é resultado da quebra da massa do solo em estruturas menores por ação mecânica (AZEVEDO & BONUMÁ, 2004).

O tamanho dos agregados varia desde o tamanho da fração argila (iguais ou menores que 2 micrômetros) até maiores que areia (maiores que 2000 micrômetros). Os chamados macroagregados são maiores que 250 micrômetros e os microagregados menores que este limite. Cada agregado possui característica própria ligada a sua gênese, refletindo-se em seu tamanho, forma, composição e estabilidade (AZEVEDO & BONUMÁ, 2004).

Em solos com textura grosseira (arenosos), como os encontrados na região dos tabuleiros, os teores de MOS são baixos, em torno de  $10 \text{ g kg}^{-1}$  ou menores (SOUZA, 1996). Esses baixos níveis de MO são encontrados pelo fato do carbono estar mais acessível ao ataque de microorganismos e, por isso, não se acumular (CALEGARI, & MEDEIROS, 2001).

As propriedades físicas do solo desempenham um papel fundamental na manutenção da matéria orgânica do solo, principalmente nos trópicos. Nota-se que o teor de carbono está estreitamente relacionado com a textura do solo, tendendo a aumentar à medida que se eleva o teor de frações granulométricas mais finas (FELLER, 1993). Tal fato se deve à estabilização da matéria orgânica por argilas e sesquióxidos,

através de mecanismos químicos, que envolvem adsorção na superfície do mineral; e físicos, decorrentes da localização de material orgânico dentro de agregados. Ambos os mecanismos são responsáveis pela proteção da matéria orgânica contra o ataque microbiano. Por isso, a proteção física da matéria orgânica está condicionada à estruturação do solo e à formação de agregados estáveis (ZECH et al., 1997).

A agregação é consequência dos níveis de carbono orgânico, da ação de agentes biológicos, dos íons presentes, dos teores de argila e carbonatos do solo. O carbono orgânico do solo (COS) age como um ligante funcionando como um núcleo de formação de agregados (BRONICK & LAL, 2005). A biota do solo e seus produtos orgânicos metabolizados contribuem com o desenvolvimento estrutural do solo; que em troca exerce um controle significativo na dinâmica da COS (BELOTTI, 1998).

Nesses casos, a degradação e estabilização dos agregados dependem do contínuo fornecimento de matéria orgânica de maneira suficiente para compensar a rápida perda do COS. Além disso, os solos de regiões tropicais são submetidos a altas temperaturas, lixiviação e maiores taxas de decomposição pelo aumento de disponibilidade de carbono orgânico ao ataque de microorganismos e suas enzimas, diminuindo desta forma o conteúdo de carbono orgânico do solo e a estabilidade dos agregados (BRONICK & LAL, 2005). A forma de uso do solo e o tipo de sistema agrícola não somente alteram a quantidade de carbono orgânico do solo como também a sua qualidade em termos das substâncias húmicas neles contidas (PICCOLO et al., 1997). Segundo estes autores, a adição de pequenas taxas de ácidos húmicos extraídos de carvão mineral proveu aumento na estabilidade dos agregados em solos de regiões de clima áridos e semi-áridos da região do mediterrâneo na Itália.

A agregação é controlada por diferentes mecanismos em cada tipo de solo. A taxa de estabilidade do solo geralmente aumenta com COS, com a superfície específica das argilas e com a sua CTC (LÜTZOW et al., 2002). Nos solos arenosos e pobres em COS a agregação pode ser determinada pela presença de cátions enquanto o seu papel pode ser mínimo em solos argilosos ou com altos teores de COS (BAYER et al., 2003). Em Latossolos e Argissolos, complexos formados entre Al-húmus e  $Al^{3+}$ -hidróxidos são agentes agregantes predominantes agindo como proteção do COS da decomposição microbiana (BRONICK & LAL, 2005).

Os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio são também importantes agentes agregantes do solo, formando ligações químicas entre partículas minerais e organominerais (SIX et al., 2000). A textura do solo tem influência significativa na agregação. Em solos com texturas mais arenosas, o COS tem uma maior influência na estrutura; enquanto a qualidade da argila é mais importante do que o aumento de sua quantidade para determinar a agregação (CHENU et al., 2000). A relação entre variações relativas às taxas de MOS e concentração de óxidos de ferro e argila (caulinita) demonstram a dependência da estabilidade física de MOS causada por interação com minerais. (BAYER et al. 2003).

### **2.3 Métodos de Avaliação da Matéria Orgânica do Solo**

Vários estudos já foram realizados quantificando a matéria orgânica em solos de diferentes ambientes e submetidos a diferentes tipos de manejo, como: SILVA & RIBEIRO, (1992) em Alagoas; FREITAS et al., (2000) em Goiás; LÜTZOW et al. (2002) na Alemanha; PINHEIRO et al. (2004) no Rio de Janeiro; e MADARI et al., (2005) no Paraná. Entretanto, poucos trabalhos foram feitos qualificando-a como: BENITES et al. (1999) em Minas Gerais; FREIXO (2002) no Rio Grande do Sul; FONTANA et al. (2001) no Rio de Janeiro; HEVIA et al. (2003) na Argentina. Pode-se acessar as características da MOS através de métodos químicos e físicos. Os métodos

modernos desenvolvidos para o fracionamento dos solos e sedimentos em combinação com técnicas espectroscópicas parecem ser promissores para obtenção de maiores informações sobre a dinâmica da matéria orgânica no solo.

Muitos estudos de MOS tem utilizado extratores químicos ou métodos físicos para fracionar a MOS (STEVENSON, 1994). As diferentes formas de fracionamento utilizados em estudos da MOS procuram separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função (CHRISTENSEN, 2000). A escolha do método de fracionamento depende do objetivo do estudo, seja ele para caracterização e identificação química de componentes específicos da MOS, ou para a quantificação ou descrição dos compartimentos da MOS importantes na ciclagem e liberação de nutrientes para as plantas (COLLINS et al., 1997).

O fracionamento químico é um método de extração das substâncias húmicas de acordo com diferenças na solubilidade em ácidos e bases, separando as frações ácido húmico, ácido fúlvico e humina (STEVENSON & GOH, 1971). As substâncias classificadas como humina são substâncias mais escuras e insolúveis em meio *alcalino*; os ácidos húmicos de cor tendendo a cor marrom são extraídas em meio alcalino (NaOH e Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) e insolúvel em meio ácido diluído; os ácidos fúlvicos tendem ao amarelo e são alcalino-solúveis, se mantêm em solução após a remoção dos ácidos húmicos por acidificação. Sabe-se que se tratam de estruturas químicas complexas de alto peso molecular compostas por estruturas aromáticas e cadeias alifáticas (SCHINITZER, 1991).

Há uma aceitação no meio científico que os ácidos húmico e fúlvico contribuem com a CTC do solo através de seus grupamentos carboxílicos e fenólicos, responsáveis por 80 a 90 % das cargas negativas do húmus. Essas cargas negativas adsorvidas nas superfícies dos colóides orgânicos são capazes de conferir um aumento na capacidade de troca catiônica do solo superior a colóides minerais mais reativos, como as argilas 2:1 (SPOSITO, 1989).

Um grande número de técnicas está sendo agora utilizado para a caracterização estrutural e avaliação da decomposição da MOS ou dos seus componentes (BRONICK & LAL, 2005). Aliado ao fracionamento químico, o estudo espectroscópico da MOS pode ser útil na constatação que os diversos compartimentos orgânicos são distintos e podem sofrer alterações devido às práticas de manejo. Para isso, os métodos espectroscópicos têm fornecido numerosas contribuições nos estudos da matéria orgânica sendo indicadores adicionais importantes da caracterização do carbono no solo (CHRISTENSEN, 2000).

Entre os métodos disponíveis pode-se citar: espectroscopia na região do infravermelho, do ultravioleta, ressonância magnética nuclear, ressonância paramagnética, pirólise, fluorescência de luz visível (STEVENSON, 1982). A combinação de diferentes técnicas espectroscópicas tem sido especialmente útil para elucidar as características da MOS (CHRISTENSEN, 2000).

A espectroscopia na faixa do infravermelho (IV) tem provado ser útil para identificar valiosas informação na natureza e arranjo de grupos funcionais de ácidos húmicos. A identificação de diferentes ligações químicas entre átomos é feita através do emprego de níveis de energia situada entre a região do visível e a de microondas, o que promove as deformações rotacionais e vibracionais das moléculas de diversos grupos funcionais e estruturais (STEVENSON, 1982). A espectroscopia IV se baseia no fato que os diferentes tipos de ligações químicas e de estruturas moleculares existentes numa molécula absorvem energia oriunda da radiação eletromagnética em comprimentos de onda característico na região do infravermelho (MARTIN-NETO et al., 1998). Essa energia absorvida causa alterações vibracionais variáveis conforme a

freqüência de ressonância das ondas e das características químicas dos átomos envolvidos. As regiões do infravermelho usadas nas leituras das análises vão do número de ondas 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ . As regiões do infravermelho próximas, 14290 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  e do infravermelho distante, 400 a 30  $\text{cm}^{-1}$  são pouco usadas em estudos de MO (SILVERSTEIN et al., 1987).

Os aparelhos atuais de espectrometria IV possuem um dispositivo chamado interferômetro não-dispersivo multiplex, mais conhecidos como espectrômetros de infravermelho com transformada de Fourier, ou simplesmente FTIR (SILVERSTEIN et al., 1987). O surgimento dessa nova técnica possibilitou haver maior velocidade de leitura dos espectros de infravermelho, permitindo o somatório de muitos espectros, melhorando a definição dos sinais e a maior veracidade das análises. Com o avanço tecnológico, ocorreu a redução do custo do aparelho e, com isso, a espectroscopia do infravermelho tornou-se relativamente simples e econômica, além de fornecer importantes informações para análise qualitativa de ácidos húmicos, inclusive, de pequenas amostras (BENITES et al. 1999).

Existem outras técnicas utilizadas na caracterização de substâncias húmicas. Uma delas é a espectroscopia na região do ultravioleta-visível que se baseia nas transições eletrônicas, resultante de absorção de luz por moléculas. Na irradiação com ultravioleta ou visível (UV-visível) a molécula absorve energia e, um dos elétrons é excitado, passando de um orbital de menor energia para outro de maior energia. Esse estado de excitação elevado, em geral, é perdido após a análise, quando a maioria das moléculas retorna ao seu estado natural de excitação. UV-visível não é uma técnica qualitativa, os espectros gerados na análise correspondem a um gráfico de freqüência ou a um comprimento de onda de absorção relacionado com a intensidade de absorção, medida em transmitância ou absorvância. Em compostos orgânicos, a absorção do UV-visível se dá em grupos de átomos com ligações não saturadas (cromóforos), cuja sua absorção coincide com a faixa do ultravioleta e ao visível, 200 a 400 nm e 400 e 800 nm, respectivamente (MACCARTHY & RICE, 1985). A espectroscopia UV-visível é bastante utilizada devido à facilidade de realização, à rapidez e aos baixos custos (CERETTA et al., 1999; HEVIA et al. 2003).

Em estudos com MOS é comum o uso da razão  $E_4/E_6$  (absorvância em 465 nm / absorvância em 665 nm) por ser uma das principais informações obtidas através da espectroscopia do UV-visível quanto ao grau de humificação de substâncias húmicas (CHEN et al., 1977). Em termos comparativos, valores menores para  $E_4/E_6$  indicam relativamente um alto grau de condensação de constituintes aromáticos, formas mais humificadas, ou seja, formas mais estáveis da matéria orgânica (CERETTA et al., 1999).

Outra técnica utilizada para caracterização das substâncias húmicas é a termogravimetria que permite estimar estabilidade ou resistência de ácido húmicos pelos picos de perda de massa através da degradação das estruturas aromáticas, que constituem o núcleo da macromolécula, em temperaturas acima de 400°C. Esta técnica ainda permite quantificar o teor de cinza e, ainda, revelar através da coloração das cinzas, alguns tipos de impurezas presentes nas amostras (RUSSEL, 1987).

## **2.4 Qualidade do Solo**

O tema qualidade do solo tem sido foco de uma preocupação crescente dos pesquisadores nos últimos anos (DEXTER, 2004a). A concepção do tema qualidade do solo se desenvolveu durante os anos noventa em resposta a crescente ênfase em escala global no uso dos recursos naturais de forma sustentada, e com ênfase num foco holístico no manejo sustentável do solo objetivando maior controle da erosão do solo

(KARLEN et al., 2003). Durante esse período esteve muito associado ao conceito de fertilidade do solo. Acreditava-se, por exemplo, que um solo quimicamente rico era um solo com alta qualidade, isto porque tinha a capacidade de prover a produção agrícola. Entretanto, a percepção de qualidade do solo evoluiu, principalmente nos últimos 10 anos, e, num entendimento mais amplo, percebe-se que não basta apenas o solo apresentar alta fertilidade, mas, também, possuir boa estruturação e abrigar uma alta diversidade de organismos (ZILLI et al., 2003).

Segundo Karlen et al. (2003) a qualidade do solo é determinada pelas propriedades herdadas em constante modificação, interagindo com processos dinâmicos naturais que se refletem nas propriedades físicas, químicas e biológicas de cada tipo de solo. A dinâmica da qualidade do solo é observada nas camadas mais superficiais, e descreve o estado de um solo numa determinada condição de uso ou manejo. Larson & Pierce (1991) definiram qualidade do solo como sua capacidade de funcionar dentro de um ecossistema interagindo positivamente nos ecossistemas próximos. Dentre esses, Doran e Parkin (1994) definem a qualidade do solo como sendo a sua capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra.

A qualidade física, química, e biológica do solo são considerados os componentes principais da qualidade do solo. Suas importâncias residem na capacidade de conseguirem demonstrar a extensão da degradação dos solos, podendo-se assim identificar práticas alternativas para uso da terra de maneira sustentável. No entanto, a qualidade física do solo parece estar preenchendo um papel mais central dentro desse tema (DEXTER, 2004a). A propriedade estrutural é um fator chave no funcionamento do sistema solo, necessário para sua capacidade de sustentar a vida animal e vegetal, e manter a estabilidade ambiental como um todo, relacionando-se com a qualidade da água e com o sequestro de carbono (BRONICK & LAL, 2005).

A perda da qualidade dos solos inicia-se com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os sistemas de cultivos agrícolas tradicionais, os quais removem a matéria orgânica e nutrientes que não são repostos na mesma proporção que são retirados do solo. Quando os teores desses nutrientes se tornam tão baixos que inviabilizam a produção, caracterizam um estágio avançado da degradação (SOUZA & MELO, 2003). Este cenário, efeito do “pós-revolução verde” passou a exigir, em âmbito mundial, a busca de parâmetros capazes de mostrar e atestar que um agroecossistema está sendo perturbado ou que não é sustentável do ponto de vista ambiental e econômico (ZILLI et al., 2003).

A mudança na qualidade dos solos em consequência dos métodos empregados na agricultura convencional pode ser identificada através dos tamanhos dos agregados existentes após o período de cultivo de uma lavoura (DEXTER, 2004b). Segundo o autor, a umidade do solo quando se encontra em nível ótimo, a proporção de agregados grandes ou torrões de terra produzidos pela aração é menor e, reciprocamente, a proporção de agregados pequenos produzida é maior.

Em áreas onde são utilizadas práticas de manejo que atenuem o impacto dos ciclos de umedecimento e secagem dos solos, a diminuição das propriedades estruturais é menos percebida e devido ao uso reduzido de aração e gradagem que mantém a camada superficial do solo protegida pela MOS (DERPSCH, 2000). A dispersão dos agregados e a erosão causada por esses ciclos também são reduzidas devido ao efeito das substâncias húmicas presentes no solo (Piccolo et al., 1997). Assim consequências geradas pelas práticas agrícolas na estrutura do solo dependem muito mais das suas propriedades físicas do que dos detalhes dos implementos agrícolas utilizados. Isto

ênfatiza a necessidade de se quantificar o estado físico dos solos agricultáveis (DEXTER, 2004a).

Nesse sentido, alguns indicadores mais facilmente mensuráveis ou visíveis, como a análise da fertilidade química do solo e, principalmente, a presença de erosão nas lavouras, começaram a ser utilizados para avaliar o efeito das práticas agrícolas, na degradação das áreas cultivadas (DERPSCH, 2000). O conteúdo de carbono orgânico e sua mineralização são afetados pelas práticas agrícolas e pela qualidade da MOS influenciando no aumentando da qualidade do solo e, assim, podendo ser utilizado como indicador na determinação do seu potencial no papel de condicionador do solo em regiões tropicais e subtropicais (BAYER et al. 2001).

Sugestões de manejo que incluam o contínuo monitoramento das condições do solo e que assegurem que seus atributos sejam mantidos em condições próximas aos níveis de equilíbrio natural, podem ser alcançadas através da manutenção ou recuperação dos níveis de MOS com a redução do uso do sistema da agricultura tradicional (FERNANDES et al., 1997).

Segundo Karlen et al. (2003) para se definir qualquer indicador de qualidade de solo deve-se selecionar aqueles que efetivamente e eficientemente consigam monitorar as funções críticas do solo (ciclagem de nutrientes, fluxo de água no solo, crescimento e desenvolvimento de plantas) de acordo com as metas do manejo específico para qual a avaliação está sendo feita. Para depois, formarem um índice agrupado, onde a cada indicador é atribuído um valor como índice de referência baseado nas características de cada solo. Esses passos são necessários para que os resultados dos indicadores químicos, físicos e biológicos possam ser combinados mesmo com as unidades totalmente diferentes usadas em cada um.

Apesar de não ser recente, a discussão sobre o uso de indicadores vem ganhando força e expõe a dificuldade de se chegar a um consenso sobre quais parâmetros são capazes de atestar o impacto do uso agrícola dos solos. Em termos práticos, os agricultores utilizam indicadores “empíricos”, como a presença de determinadas plantas, insetos, minhocas, entre outros, relacionando-os à fertilidade do solo, presença de erosão na propriedade, à matéria orgânica no solo e compactação do solo (KARLEN et al., 2003).

Porém, sabe-se que não existem indicadores ideais ou mágicos que consigam, por si só, responder as inúmeras dúvidas quanto ao estado da qualidade do solo. No entanto, as avaliações da qualidade do solo podem ser feitas priorizando metas de manejo, identificando as funções críticas dos solos necessárias para alcançar o objetivo de selecionar indicadores que forneçam informações úteis, que demonstrem como um solo específico está funcionando (KARLEN et al., 2003).

A constatação do aumento de áreas agrícolas degradadas tem levado a uma mudança de concepção do uso da terra, baseada em uma visão holística do processo agrícola, onde os recursos naturais (solo, água e biodiversidade) são explorados de forma mais sustentável. Percebe-se, desde a última década, que a sociedade tem debatido de forma incisiva os atuais sistemas de produção agrícola, observando-se um aumento gradativo do número de adeptos tanto na sociedade como no meio científico de uma agricultura menos impactante ao ambiente (Zilli et al. 2003).

A ocupação das áreas de solos coesos ocorreu de forma semelhante à maioria das áreas agrícolas do país, sem o devido respaldo da pesquisa que, em alguns casos, tem estado a reboque das iniciativas e ações dos produtores na busca de maior rendimento econômico, acabando por adotar alternativas nem sempre apropriadas para a situação, às vezes, insistindo nas recomendações tradicionais de manejo do solo através

de “pacotes tecnológicos” e, assim, contribuindo involuntariamente para a degradação dos solos (REZENDE, 2000).

Em quaisquer sistemas de manejo agrícolas, o importante é se atentar para as alterações edáficas que podem ser propiciadas em benefício do ecossistema, de modo a manter o equilíbrio solo-organismos, minimizando a aplicação de insumos fertilizantes, pelo aproveitamento residual melhorando as condições físico-hídricas e a qualidade do solo (SILVA, 1995). No entanto, deve-se considerar o tempo de maturação do sistema, onde se podem computar esses benefícios, ao invés da preocupação imediata por altos rendimentos da produção sem se preocupar com as conseqüências futuras (perda da produtividade, erosão e diminuição do valor das terras), ao se utilizarem tecnologias de altos insumos.

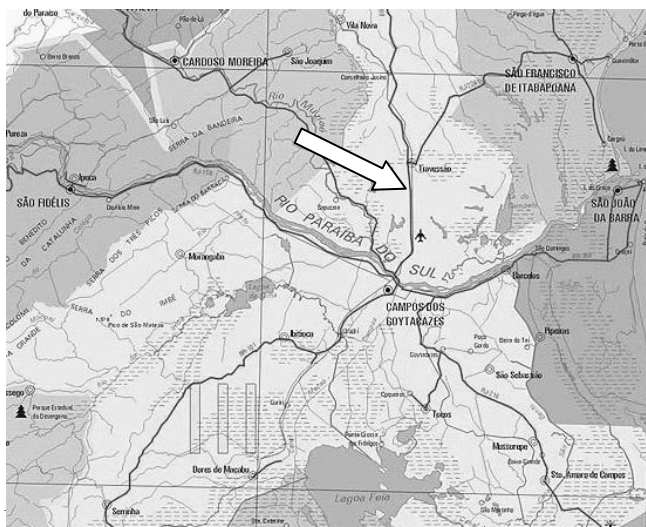


### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização da Área de Estudo

Os estudos foram conduzidos nas áreas localizadas na altura do km 14 às margens da rodovia BR-101, no município de Campos dos Goytacazes, região norte fluminense. As coordenadas geográficas locais são: 21° 35' a 21° 36' de latitude sul e 41° 16' a 41° 17' de longitude oeste de Greenwich e altitude variando de 27 a 33 m em relação ao nível do mar. O acesso à área pode ser feito pela rodovia BR-101 no sentido Travessão de Campos – São Francisco de Paula. No sentido de São Francisco de Paula, a área encontra-se do lado esquerdo da BR-101 em frente à entrada de acesso à estrada RJ-224 que localiza-se à direita (Figura 1).

A escolha das áreas foi feita com base em fotos aéreas (1:15000) e mapas de solos (1:10000 e 1:25000) referentes ao “Projeto de irrigação e drenagem da cana-de-açúcar na Região Norte Fluminense”. As áreas de Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo foram selecionadas sob três coberturas vegetais distintas: pastagem, cana-de-açúcar e remanescente de floresta secundária, figuras 2, 3 e 4 respectivamente.



**Figura 1** – Localização aproximada da área de estudo no Município de Campos dos Goytacazes (RJ).



**Figura 2**–Área de pastagem no Município de Campos dos Goytacazes (RJ).



**Figura 3** - Área de plantio de cana-de-açúcar no Município de Campos dos Goytacazes (RJ).



**Figura 4** –Área de floresta secundária no Município de Campos dos Goytacazes (RJ).

### **3.2 Clima**

O clima da região é caracterizado como tropical quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão, com precipitação anual em torno de 1020 mm. Este tipo climático enquadra-se como Aw da classificação de Köppen. A temperatura média anual varia de 21,6 °C, em junho, e 27,7 °C, em fevereiro. Os meses mais quentes vão de dezembro a março, enquanto que de junho a setembro ocorrem às temperaturas mais baixas. A distribuição das chuvas ocorre de maneira bastante irregular, 80% delas se concentram entre os meses de outubro a abril, registrando-se períodos de estiagem de 15 a 30 dias, o que torna a distribuição das chuvas heterogênea notadamente em fevereiro. Os índices pluviométricos que variaram de 522,0 a 1377,3 mm ano<sup>-1</sup> no período de 1975 a 1999 (AZEVEDO et al., 2000).

### **3.3 Solo e Relevo**

A seleção dos solos se baseou nas ordens de maior expressão em extensão sobre os tabuleiros costeiros. Segundo Jacomine (2001), os Latossolos Amarelos (LA) estão em primeiro lugar na área dos tabuleiros seguidos pelos Argissolos Amarelos (PA).

O relevo da região é suave ondulado com declividade variando de 2 a 5 % e imperfeitamente drenado.

### **3.4 Coberturas Vegetais**

#### **3.4.1 Área de pastagem**

A área de estudo com pastagem foi formada a mais de 10 anos, composta, predominantemente, por gramíneas do gênero *Brachiaria decumbens* (Figura 2). Desde a sua implantação até a data da coleta, não houve aplicação de adubos ou corretivos na área. Eventualmente, durante estes anos, ocorreram queimadas acidentais e/ou como prática de renovação da pastagem após o período seco do inverno.

Em relação ao seu uso, a pastagem tem sido largamente utilizada com bovinos para fins de corte (Sr. Epifani, proprietário da área, comunicação pessoal). O baixo vigor observado nas pastagens, provavelmente, seja decorrente da alta pressão de pastejo associado à ausência de manutenção.

#### **3.4.2 Área de plantio de cana-de-açúcar**

A área de estudo constituída por cana-de-açúcar é submetida ao manejo tradicional de cultivo da região para essa cultura, que utiliza o método da queima controlada para fins de limpeza da área na época do corte para a colheita. Na região norte do Estado do Rio de Janeiro os solos de tabuleiros são intensamente cultivados com cana-de-açúcar, sendo que os níveis de produtividade vêm diminuindo nos últimos 10 anos, apresentando níveis menores que 47 toneladas por hectare (CIDE, 2005), considerados baixos e inferiores a média nacional, cerca de 62 toneladas por hectare (IBGE, 2005). A baixa produtividade agrícola observada em áreas de tabuleiros tem sido atribuída, principalmente, a baixa fertilidade natural desses solos, seguida das condições de clima e manejo inadequados das terras.

#### **3.4.3 Área de floresta secundária**

A distribuição florestal na região Norte Fluminense se encontra atualmente na forma de fragmentos com diferentes graus de perturbação, desde queimadas e cortes seletivos a trechos sem perturbação. As chamadas “Matas dos Tabuleiros” possuem características ecológicas próprias que as distingue das demais formas de mata atlântica *latu senso* por ocuparem uma extensa área de planícies (tabuleiros) costeiras de origem terciária, e por suas espécies estarem distribuídas ao longo de um gradiente climático litoral-interior (SILVA & NASCIMENTO, 2001).

Para o presente estudo foi selecionado um trecho de floresta que fosse representativo, apresentando características comuns dos fragmentos da região. A floresta secundária semidecídua selecionada está disposta num fragmento de aproximadamente 15 ha e se encontra modificada por corte seletivo e pastejo ocasional.

### **3.5 Preparo das Amostras**

As amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2,0 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

### **3.6 Análises Físicas do Solo**

#### **3.6.1 Composição granulométrica**

As amostras foram dispersas com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e agitadas, em baixa rotação, por 16 horas, conforme modificação proposta por Rezende (1979). O teor de argila total foi determinado na suspensão, pelo método da pipeta (DAY, 1965). As frações areia

grossa e areia fina foram separadas por tamisação, em peneiras de malhas 0,2 e 0,053 mm, respectivamente. O silte foi obtido por diferença.

### 3.6.2 Densidade do solo

Para determinar a densidade do solo ( $D_s$ ) foram utilizadas amostras indeformadas, com a utilização do anel volumétrico (Kopecky) de 4,2 cm de diâmetro e 3,8 cm de altura, expressa em  $Mg\ m^{-3}$ .

### 3.6.3 Densidade das partículas

A densidade das partículas ( $D_p$ ) foi determinada pelo método do álcool etílico, e expressa em  $Mg\ m^{-3}$ .

### 3.6.4 Volume total de poros

O volume total de poros (VTP) foi calculado com o uso da fórmula:  $VTP\ (\%) = (1 - D_s/D_p) \times 100$ .

### 3.6.5 Distribuição dos agregados

Determinada pelo método de avaliação dos agregados estáveis em água. As diferentes peneiras utilizadas correspondem às classes de agregados I, II, III, IV e V, com diâmetro de  $8,0 \geq X > 2,0$  mm, de  $2,0 \geq X > 1,0$  mm, de  $1,0 \geq X > 0,5$  mm, de  $0,5 \geq X > 0,25$  mm e de  $0,25 \geq X > 0,105$  mm, respectivamente.

### 3.6.6 Diâmetro médio ponderado

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$DMP = \sum_{x=1}^5 x_i y_i$$

Onde:

$i$  = intervalo de classe:  $8,0 \geq X > 2,0$  mm, de  $2,0 \geq X > 1,0$  mm, de  $1,0 \geq X > 0,5$  mm, de  $0,5 \geq X > 0,25$  mm e de  $0,25 \geq X > 0,105$  mm;

$x_i$  = é o diâmetro do centro de classe (mm);

$y_i$  = é a razão entre a massa de agregados dentro da classe ( $x_i$ ) e a massa total de agregados.

### 3.6.7 Diâmetro Médio Geométrico

O Diâmetro Médio Geométrico (DMG) foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$DMG = \exp \left\{ \frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i} \right\}$$

Onde:

$w_i$  = peso dos agregados de cada centro de classe (g);

$\ln$  = logaritmo natural de  $x_i$ ;

$x_i$  = diâmetro do centro de classe (mm).

### 3.6.8 Índice de sensibilidade

O índice de sensibilidade (IS) determina a semelhança existente entre duas áreas, baseando-se em valores de DMP para estabelecer graus relativos de estabilidade do solo.

O índice de sensibilidade foi calculado conforme a fórmula abaixo:

$$IS = \frac{DMP\ i}{DMP\ ii}$$

Onde:

DMP *i* - valor do DMP dos agregados do solo da área alterada;

DMP *ii* - valor do DMP dos agregados do solo da área preservada.

## 3.7. Análises Químicas do Solo

### 3.7.1 pH em água

Determinado através da medição eletrônica do potencial por meio de eletrodo imerso na suspensão solo:líquido (água) na proporção de 1:2,5, com tempo de contato não inferior a uma hora e agitação da suspensão antes da leitura.

### 3.7.2 Cálcio e magnésio trocáveis

Extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na proporção de 1:10, sendo obtidos por complexometria em presença do coquetel (solução tampão, cianeto de potássio e trietanolamina). O Ca<sup>+2</sup> foi determinado em presença de KOH a 10 %, sendo ambos titulados com EDTA 0,0125 mol L<sup>-1</sup>; o Mg<sup>+2</sup> foi obtido por diferença. O resultado é expresso em cmol<sub>c</sub> kg.

### 3.7.3 Alumínio trocável

O alumínio trocável (Al<sup>+3</sup>) foi extraído com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na proporção de 1:10, com indicador de Azul de Bromotimol a 0,1 % e determinado pela titulação da acidez com NaOH 0,025 mol.L<sup>-1</sup>. O resultado é expresso em cmol<sub>c</sub> kg.

### 3.7.4 Acidez potencial

A acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>+3</sup>) foi determinada através de extração com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, ajustada a pH 7,0 na proporção de 1:15, com indicador de fenolfitalina a 1 % e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>.

### 3.7.5 Carbono orgânico do solo

O carbono orgânico do solo (COS) foi determinado pela oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio 0,2 mol L<sup>-1</sup> em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L<sup>-1</sup>.

### 3.7.6 Carbono orgânico dos agregados

As amostras coletadas no campo foram secas ao ar e passadas por peneiras de 8 e 4 mm de diâmetro de malha. O material retido na peneira de 4 mm foi utilizado para análise de determinação da distribuição dos agregados via úmida (EMBRAPA, 1997). Após essa etapa foi determinado o teor de carbono orgânico nos agregados (COAGR) do material retido nas peneiras como definido no método de estabilidade dos agregados.

Para a quantificação do teor de carbono orgânico, o material contido em cada peneira foi seco em estufa a 65 °C, triturado, sendo pesadas 0,5 g. A determinação do teor

de carbono foi realizada segundo EMBRAPA (1997). O material analisado compreendeu as profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm.

### **3.7.7 Nitrogênio total**

O nitrogênio total (N) foi determinado por digestão da amostra com ácido sulfúrico e água oxigenada na presença de sulfatos de cobre e de sódio; dosagem do nitrogênio por volumetria com  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  após a retenção de  $\text{NH}_2$  em ácido bórico em câmara de difusão.

### **3.7.8 Fósforo**

O fósforo (P) foi determinado através da extração com solução de  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  e determinado por colorimetria após a redução do complexo fosfomolibídico com ácido ascórbico, em presença de sal bismuto.

### **3.7.9 Sódio e potássio**

O Sódio (Na) e potássio (K) foram determinados através da extração de  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  na proporção solo-solução 1:10 e determinados por fotometria de chama.

### **3.7.10 Valor SB, T e V%**

Calculados segundo as seguintes relações:

Valor SB → Soma de bases trocáveis = valores de Ca + Mg + K + Na.

Valor T = valor SB + valor de H; sendo o valor de H =  $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$

Valor V% → Percentual de saturação por bases = (Valor SB / Valor T) x 100

## **3.8 Fracionamento Quantitativo das Substâncias Húmicas do Solo**

Foi realizado de acordo com o método proposto por Benites et al. (2003), no qual, utilizou-se uma amostra de solo que continha 30mg de carbono orgânico total e adicionou-se 20 ml de  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . Agitou-se e deixou em repouso por 24 horas. Após centrifugar por 30 minutos a  $5.000 \text{ g}$  ( $\text{FCR}_{\text{média}}$ ), recolheu-se e reservou-se o sobrenadante. Repetir esse procedimento com tempo de repouso de 1 hora e recolheu-se o sobrenadante junto ao previamente reservado (extrato alcalino – pH 13,0). Reservou-se o precipitado (fração humina). Ajustou-se o pH do extrato alcalino para pH 1,0 ( $\pm 0,1$ ) com adição de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20% e deixou decantar por 18 horas. Filtrou-se o precipitado em filtro de membrana de  $0,45 \mu\text{m}$ . Recolher o filtrado e aferir o volume para 50 ml (fração ácido fúlvico). Adicionou-se  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  sobre o precipitado até a lavagem completa do filtro e aferir seu volume para 50 ml com água destilada (fração ácido húmico).

A quantificação das substâncias húmicas foi determinada através do teor de carbono orgânico total das frações. Para isso, foi utilizado o dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) na concentração de  $0,1667 \text{ mol L}^{-1}$  para humina e  $0,042 \text{ mol L}^{-1}$  para ácidos húmicos e fúlvicos, associando-se o uso do  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, indicador FERROIN e sulfato ferroso amoniacal  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$  como titulante.

## **3.9 Extração e Purificação dos Ácidos Húmicos (AH)**

### **3.9.1 Extração dos AH**

Para a extração dos AH utilizou-se o método recomendado pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS). No qual, utiliza-se quantidades de amostras de solos que contenham cerca de 200 mg de ácidos húmicos, a estas amostras

adicionou-se 200 mL de solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> corrigindo-se o pH para 1,0 por gotejamento de solução aquosa de HCl 20 %, agitando-se por 1 hora em agitador mecânico, centrifugou-se por 10 minutos a 5.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C. Após o descarte do material sobrenadante (FAF), adicionou-se 200 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> em cada amostra corrigindo-se o pH para 12,0 com solução de NaOH 20 %. Agitou-se por mais 2 horas em agitador mecânico e centrifugou-se por 20 min a 10.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C. O sobrenadante (solução escurecida) foi recolhido em Erlenmeyer de 1000 mL e imediatamente o pH foi ajustado para 1,0. As amostras foram reservadas em geladeira deixando descansar por 18 h (uma noite) para a precipitação dos AH. Após esse período, excesso de sobrenadante (FAF) foi sifonado e descartado, em seguida, procedeu-se outra centrifugação a 5.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C por 10 min, eliminando-se o sobrenadante (FAF).

Para ressolubilizar a fração ácido húmico (FAH), adicionou-se novamente 200 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> aos tubos de centrífuga contendo o precipitado, agitou-se manualmente até homogeneizar a solução (desfazer os pequenos torrões) e centrifugou-se por 20 min a 10.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C. Recolheu-se o sobrenadante e imediatamente ajustou-se o pH para 1,0. Deixou descansar por 18 h em geladeira. Levou-se novamente para centrifugação por 10 min a 5.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C, eliminando-se o sobrenadante (líquido claro).

Para ajudar a eliminação de sais presentes nas amostras de AH, adicionou-se 200 mL de solução KOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> aos tubos de centrífuga com os AH precipitados corrigindo o pH para, no mínimo, 12,0. Agitando-se manualmente e centrifugando-se por 20 min a 10.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C. Recolheu-se o sobrenadante e imediatamente ajustar o pH para 1,0. e centrifugou-se por 10 min a 5.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C. Adicionou-se 200 mL de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> para lavar as amostras purificadas (retirada de sais), e centrifugou-se por 10 min a 5.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C.

### **3.9.2 Purificação dos AH**

As frações AH extraídas das amostras de solo foram purificadas com uso de solução HF + HCl 0,5 %, agitadas por 24 horas à temperatura ambiente e centrifugadas por 10 min a 5.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C, repetindo-se esse processo mais uma vez. As amostras purificadas foram lavadas com 200 mL de solução HCl 0,01 mol L<sup>-1</sup>, e centrifugadas por 10 min a 5.000 g (FCR<sub>média</sub>) a 10 °C. O precipitado foi transferido para sacolas de celofane (20 x 20 cm) com capacidade para aproximadamente 100 mL e acondicionadas em bandejas de 10 L (12 sacolas por bateria) para proceder-se à diálise em água deionizada. Os conteúdos das sacolas foram transferidos para copos descartáveis de 100 mL, congelados e liofilizados.

### **3.10 Análises Espectroscópicas**

Para a caracterização da matéria orgânica foi utilizada a fração ácido húmico liofilizada das amostras de solo na profundidade de 0-5 cm. Foi realizada a análise dos espectros de infravermelho (IV), compreendidos na faixa de 4.000-400 cm<sup>-1</sup>, em pastilhas de KBr (2 mg de ácido húmico liofilizado + 200 mg de KBr seco), utilizando-se um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), modelo 1600 Series FTIR, fabricado pela Perkin Elmer, pertencente ao Departamento de Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

As leituras na faixa do UV-Visível foram feitas em espectrofotômetro digital modelo B342II, da marca Micronal de propriedade da EMBRAPA-Agrobiologia. As leituras na faixa do visível para determinação das absorvâncias em 465 e 665 nm foram

tomadas nas soluções de ácidos húmicos purificados (AH) na concentração de 100 mg kg<sup>-1</sup> diluídas em bicarbonato de sódio 0,05 mol L<sup>-1</sup>

### 3.11 Análises Termogravimétricas

Para a determinação da umidade, as amostras foram secas em estufa à temperatura até 65 °C por um período de 5 horas. As análises termogravimétricas de todas as amostras de ácidos húmicos foram feitas com o auxílio de uma mufla.

As amostras, colocadas em cadinhos de platina, pesavam em torno de 150,000 ± 0,100 mg. O peso inicial foi estabilizado a 30 °C. As amostras foram submetidas à temperatura final foi de 600 °C por um período de 5 horas. O processo consumiu em média 8 h 30 min para cada conjunto de seis amostras, já incluído o tempo para aquecimento (1 h) e resfriamento do aparelho e das amostras (2 h 30 min). O resíduo ao final da queima foi considerado como o teor de cinzas.

### 3.12 Análise Elementar

A composição elementar dos ácidos húmicos (CHN) foi determinada em um analisador elementar Perkin Elmer PE-2400 CHNS. As análises foram feitas, utilizando-se amostras de 1,1000 ± 0,1000 mg. O padrão de referência usado foi a acetanilida (C=71,09 %, H=6,71 %, N=10,36 %). Os valores de carbono, hidrogênio e nitrogênio foram corrigidos para base seca e sem cinzas, utilizando as informações obtidas pelos dados da análise termogravimétrica, utilizando a equação:

$$\% \text{ corrigido} = \% \text{ original} \cdot 100 / (100 - \% \text{ umidade} - \% \text{ cinzas})$$

Do teor de hidrogênio determinado pelo aparelho, foi subtraído o hidrogênio contido na umidade na correção para base seca e sem cinzas, determinada pela termogravimetria. O teor de oxigênio foi determinado por subtração a partir dos dados corrigidos. Calcularam-se as razões atômicas:

$$\text{C:H} = ((\% \text{ C} / 12) / (\% \text{ H} / 1)); \quad \text{C:N} = ((\% \text{ C} / 12) / (\% \text{ N} / 14)) \text{ e}$$

$$\text{O:C} = ((\% \text{ O} / 16) / (\% \text{ C} / 12)).$$

### 3.13 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

Para os estudos de caracterização física e química dos solos foram feitas análises estatísticas dos dados, considerando o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 2, tendo como fontes de variação a cobertura vegetal (pastagem, cana-de-açúcar e floresta secundária), classes de solo (Latosolo e Argissolo), respectivamente. Foram feitas cinco repetições (pontos de coleta) para cada solo sob cada cobertura vegetal em quatro profundidades de coleta (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm), totalizando 120 amostras de terra. Os resultados das propriedades químicas e físicas do solo foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F, o teste de normalidade (Teste de Lilliefors) e a avaliação da homogeneidade da variância (Teste de Cochran & Bartlett), sendo os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Para o estudo da caracterização da matéria orgânica foram utilizadas análises descritivas de comparação simples dos resultados das análises químicas quantitativas (IV UV-visível, termogravimetria e análise elementar).



## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

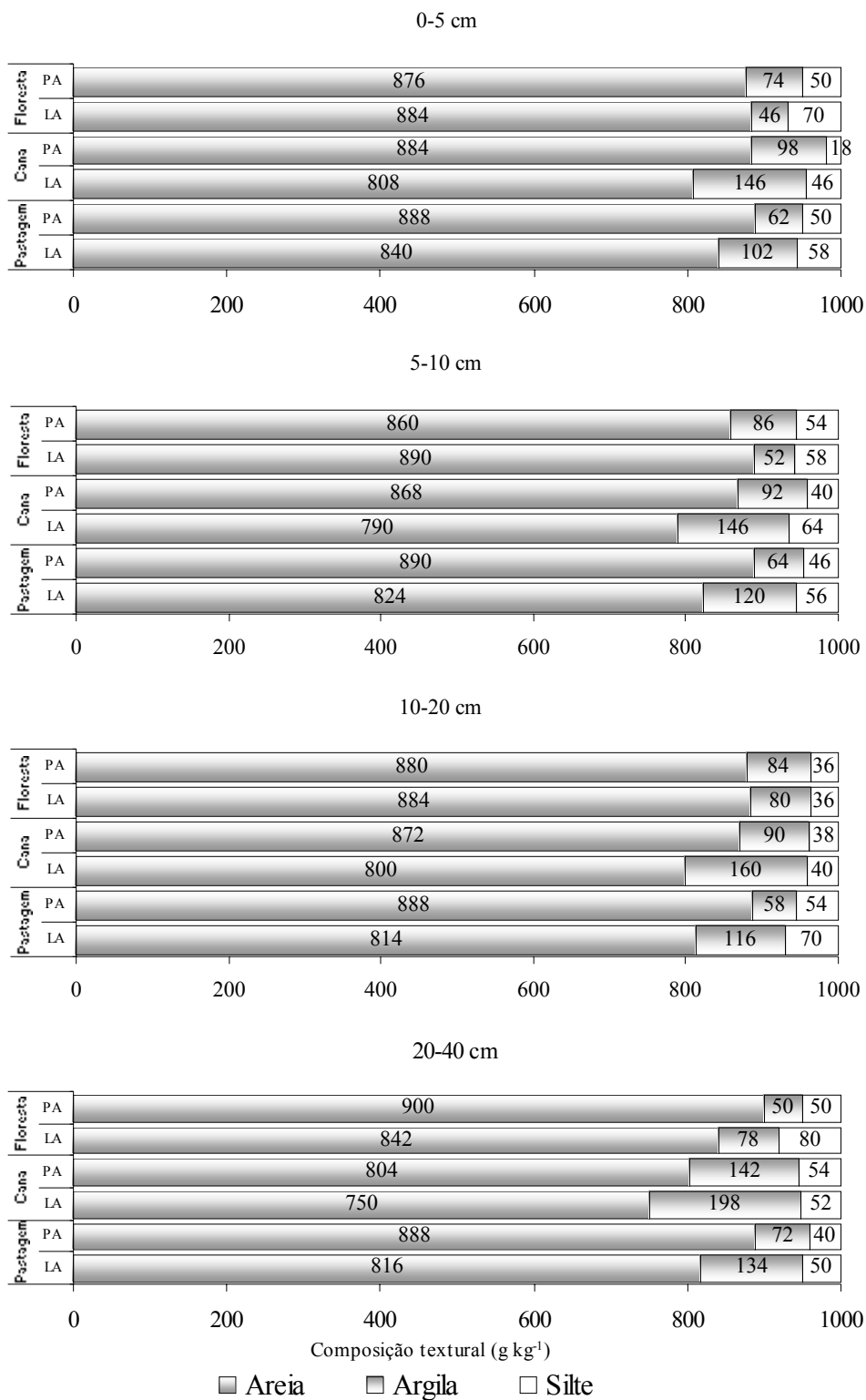
### **4.1 Avaliação das Propriedades Edáficas dos Solos em Função da Cobertura Vegetal**

#### **4.1.1 Composição granulométrica dos solos**

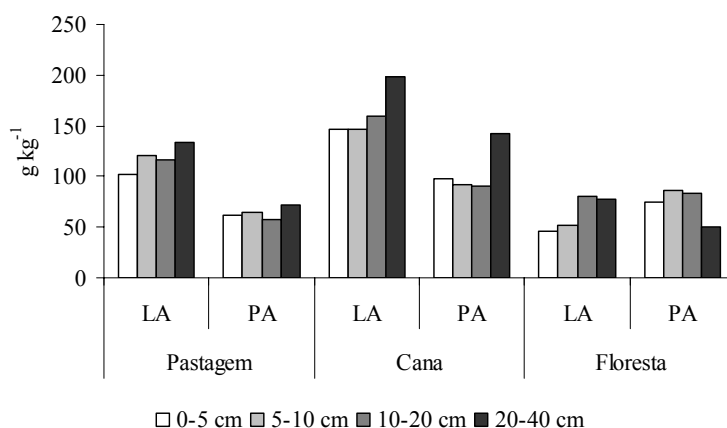
A composição granulométrica das amostras do solo foi analisada nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em Latossolos (LA) e Argissolos (PA) sob as coberturas vegetais pasto, cana-de-açúcar e floresta secundária (Figura 5). De maneira geral, as áreas apresentaram textura arenosa, possuindo valores de argila e silte inferiores aos encontrados por Souza (1996), Paiva et al. (2000) e Jacomine (2001) em solos de Tabuleiros. Valores acima de 90% de areia foram observados nos solos sob cobertura de floresta natural, superando os valores da fração areia encontrados por Nascimento (2001) nos solos da mesma região.

Ocorreram ligeiras variações texturais tanto entre profundidades quanto entre as coberturas vegetais dentro da mesma ordem de solo. No entanto, quando compara-se somente os valores da fração argila (Figura 6), verifica-se que os maiores valores foram encontrados no LA sob cobertura cana, seguido pela cobertura pasto. Sob floresta também houve uma menor diferença no teor de argila entre as ordens de solo.

De forma geral, percebeu-se um aumento progressivo dos valores de argila em profundidade. Sendo que na maior profundidade (20-40 cm), encontrou-se os maiores valores sob a cobertura cana, seguido pelos valores observados na área de pastagem. Essa maior concentração de argila em 20-40 cm não foi observada sob a cobertura floresta. Maia & Ribeiro (2004), estudando o efeito do cultivo da cana nas propriedades estruturais do Argissolo Amarelo textura arenosa de tabuleiros no Estado de Alagoas, perceberam aumento em profundidade nos teores de silte e argila nas áreas cultivadas há dois anos com cana-de-açúcar, sendo superiores e estatisticamente significativos, no período de trinta anos, atribuindo esse efeito provavelmente ao maior grau de desenvolvimento do horizonte coeso do perfil.



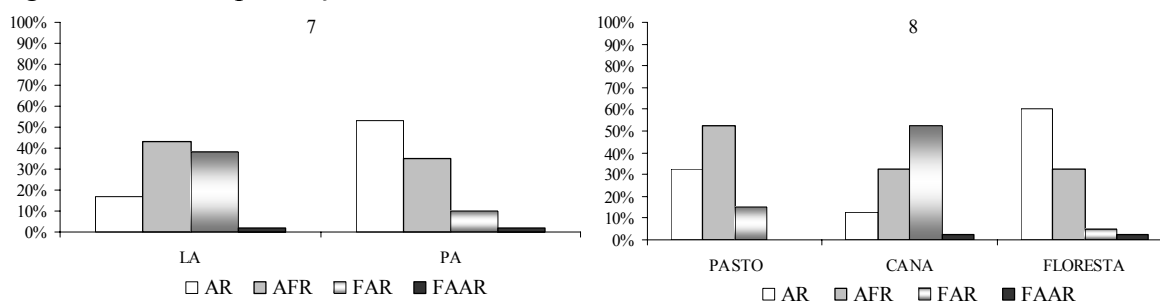
**Figura 5** – Composição textural do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas diferentes coberturas vegetais e ordens de solos.



**Figura 6** - Teores de argila nas diferentes profundidades, ordens de solo e coberturas vegetais.

Segundo Lemos & Santos (1996) foram identificadas quatro classes texturais: areia (AR), areia-franca (ARF), franco-arenosa (FAR) e franco-argiloarenosa (FAAR). Devido à alta participação da fração areia na textura dos solos estudados, as classes texturais mais arenosas (AR - 35% e ARF - 39%) estiveram em maior proporção em relação às menos arenosas (FAR - 24% e FAAR - 2%), nas 120 amostras analisadas. Observou-se um total de 98% das amostras com textura arenosa (AR + ARF + FAR) e 2% com textura média FAAR.

Observa-se na ordem dos PA (Figura 7) e na área de cobertura com floresta (Figura 8) que as amostras de textura mais arenosa aparecem em maior proporção. Já para a ordem LA na cobertura pasto e, principalmente, na área de cana verifica-se que esta apresenta-se proporcionalmente, menos arenosas. Os elevados teores de areia associados a presença de argila tipo 1:1 (caulinita) presentes nesses solos são fatores favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos, especialmente na ordem dos Argissolos. Estudos realizados por Piccolo et al. (1997) em solos de clima árido e semi-árido na Itália demonstraram o aumento da desagregação e a suscetibilidade dos solos à erosão quando submetidos a ciclos de umedecimento e secagem, sendo o comportamento variável em função da composição mineralógica do solo associado à fração argila. De forma geral, os solos com fração argila do tipo 2:1 (esmectita e ilita), estudados por esse autor, apresentaram indicadores de estabilidade e erodibilidade melhores do que os solos com fração argila 1:1 (caulinita) mas quando submetidos à dispersão em água, os solos caulínicos com maiores teores de argila, foram os que apresentaram menor suscetibilidade à erosão, indicando um reflexo do incremento de argila associado à presença de outros elementos do solo, como:  $\text{CaCO}_3$  e MO.



**Figuras 7 e 8** - Classificação textural das áreas segundo ordem de solo e cobertura vegetal.

Legenda: AR – Areia; ARF – Areia Franca; FAR – Franco Arenosa; FAAR – Franco-argiloarenosa.

#### 4.1.2 Fertilidade dos solos

Na Tabela 1, a seguir, está apresentada a caracterização do complexo sortivo e teores de carbono orgânico nas profundidades de 0-5, 5-10-, 10-20 e 20-40 cm para as ordens de solo LA e PA sob as coberturas vegetais de pasto, cana e floresta secundária.

Os valores de pH em água (Tabela 1) indicam áreas fortemente ácidas (pH de 4,4 - 5,3) principalmente sob a cobertura cana. Os teores de H+Al na área de cana foram relativamente maiores do que os verificados nas outras coberturas, no entanto, somente na maior profundidade (20-40 cm) nas áreas de cana observaram-se teores de Al<sup>3+</sup> superiores a 0,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de TFSA, valor usado como nível crítico para as recomendações de calagem (ALMEIDA et al., 1988). Os maiores valores de acidez foram verificados nas áreas de pastagens sobre LA, porém, acidez moderada (pH de 5,4 - 6,5) foi observada nas áreas de solo PA. Sob floresta, os solos apresentaram acidez moderada, quase não havendo diferença de pH entre as ordens de solos sob essa cultura.

O aumento da acidez observado em profundidade é comum nos solos, principalmente em áreas de elevada pluviosidade, onde ocorre a lixiviação dos nutrientes que são substituídos por elementos acidificantes como hidrogênio e alumínio (SILVA, 1995). Observa-se nas Tabelas 2 e 3, que os menores valores de pH foram encontrados nas áreas de cana, se diferenciando estatisticamente das demais coberturas vegetais. Esta maior acidez pode ser um reflexo do manejo agrícola inadequado que propicia baixa manutenção da MOS através da queima da palha. É importante mencionar também que os nutrientes contidos nas cinzas da queima da palha, que poderiam ficar na superfície do solo, são geralmente perdidos do sistema pelo arraste provocado pela água das chuvas e/ou pelo vento, empobrecendo o solo (URQUIAGA et al., 1997).

Os níveis de P disponíveis foram baixos em todas as áreas. Nas áreas de cana houve uma ligeira elevação de fósforo e de potássio decorrente, provavelmente, do uso de adubos minerais. Os baixos níveis de P (< 0,10 mg kg<sup>-1</sup>) e de K (< 0,11 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) demonstraram ser estes nutrientes os principais limitantes ao desenvolvimento das culturas nas áreas de pasto e cana-de-açúcar.

Foram observados o predomínio dos íons Ca e Mg nas áreas de floresta e pastagem (Tabela 1) havendo diferença significativa em relação às áreas de cana (Tabelas 2 e 3). Os níveis de K foram significativamente maiores nas áreas de floresta em todas as profundidades do solo estudadas (Tabela 1). Observou-se interação estatística significativa entre as coberturas e os solos para esse elemento somente na profundidade de 5-10 cm sob floresta (Tabelas 2 e 3).

Quanto ao teor de COS, foram encontrados níveis baixos independente da cobertura ou ordens de solo. No entanto, verificaram-se maiores valores na ordem dos PA (Tabela 1), sendo estes significativamente maiores nas áreas de floresta, seguidos pela área de pastagem (Tabelas 2 e 3). Somente sob a cobertura de cana, LA apresentou maiores e significativos valores para carbono orgânico, em relação a PA. Esse resultado pode ser decorrente dos maiores teores de argila encontrados em LA sob a cultura de cana (Figura 6). Entre as formas de uso e cobertura, os teores de COS nos PA sob cana foram cerca de 49% menores do que os encontrados na área de floresta (Tabela 1). Um maior detalhamento dos resultados encontrados de COS está apresentado no item 4.2.1.

Diferenças estatisticamente significativas (Tabelas 2 e 3) foram observadas nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm para os teores de COS e valor V%. Os teores foram mais expressivos na ordem dos PA sob coberturas de pasto e floresta. Os maiores teores de Ca+Mg, valor de soma de bases (SB) e pH foram constatados nas áreas de floresta e pasto, e os maiores valores de H+Al nas áreas de cana-de-açúcar, independente da profundidade e ordem de solo. Nas áreas de floresta e pasto ocorreram os menores

teores de Al, sendo que estas não apresentaram diferença estatística entre as diferentes profundidades.

As variações dos teores de MO são refletidas diretamente na CTC do solo (Valor T), principalmente em solos arenosos como os dos tabuleiros, onde a contribuição da MO na CTC é mais significativa (SOUZA, 1996). Os maiores valores da capacidade catiônica do solo foram observados na cobertura de floresta (Tabela 1), se diferenciando estatisticamente das demais áreas nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm (Tabelas 2 e 3).

Foi verificada diferença significativa entre as ordens de solo para o valor T, onde PA apresentou maiores valores comparados a LA na profundidade de 10-20 cm na floresta. De forma geral, o valor S acompanhou o comportamento observado para Ca + Mg em todas as profundidades.

O valor V% esteve acima ou próximo de 50% nas áreas de floresta e pastagens, se diferenciando estatisticamente das áreas de cana em todas as profundidades. Esses resultados acompanharam os valores de saturação por bases, destacando a importância da participação de Ca + Mg no valor T desses solos. (Tabelas 2 e 3). Os resultados das análises de variância referentes aos resultados da Tabela 2 e 3 estão apresentados no Apêndice I.

**Tabela 1** - Carbono orgânico do solo, pH, P disponível e complexo sortivo solo sob diferentes coberturas vegetais, profundidades e ordens de solos.

Cob. Veg.	Prof. cm	COS g kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	P mg kg <sup>-1</sup>	-----cmolc kg <sup>-1</sup> -----						T	V %
					K	Na	Ca	Mg	SB	H+Al		
Latossolo (LA)												
Pasto	0-5	5,5 Aa	5,3 Ba	4 Aa	0,46 Ba	0,56 Aa	0,6 Aa	1,0 Aa	2,59 ABa	0,71 Ba	3,30 Ba	79 Aa
	5-10	5,2 ABa	5,4 Aa	2 Bb	0,18 Cb	0,35 Aa	0,5 Aa	0,7 Aa	1,74 ABb	0,79 Ba	2,53 Bab	70 Aa
	10-20	3,6 Bbc	5,3 Aa	2 Bb	0,13 Bb	0,40 Aa	0,5 Aa	0,6 Aa	1,61 Ab	0,63 Ca	2,23 Bb	73 Aa
	20-40	3,1 Bc	5,2 Aa	1 Bb	0,10 Bb	0,40 Aa	0,4 Aa	0,6 Aa	1,52 Ab	0,63 Ba	2,15 Bb	72 Aa
Cana	0-5	5,9 Aa	5,0 Ba	6 Aa	0,71 Ba	0,05 Ba	0,4 Aa	0,4 Ba	1,58 Ba	2,13 Aa	3,71 Aba	43 Ba
	5-10	6,4 Aa	4,8 Ba	7 Aa	0,38 Bb	0,05 Ca	0,5 Aa	0,4 Aa	1,32 Bab	2,21 Aa	3,53 Ba	38 Bab
	10-20	5,2 Aa	4,7 Ba	7 Aa	0,21 Bc	0,05 Ca	0,4 Aa	0,3 Aa	0,98 Ab	2,36 Aa	3,34 Aa	30 Bab
	20-40	5,1 Aa	4,7 Ba	6 Aa	0,16 Bc	0,07 Ba	0,4 Aa	0,3 ABa	0,89 Bb	2,51 Aa	3,40 Aa	27 Bb
Floresta	0-5	5,6 Aa	6,0 Aa	5 Aa	1,31 Aa	0,39 Aa	0,9 Aa	0,8 Aba	3,47 Aa	1,50 Aba	4,97 A	69 Aa
	5-10	4,2 Bb	5,7 Aab	3 Bb	0,75 Aab	0,23 Bb	0,6 Ab	0,6 Aab	2,13 Ab	1,73 Aa	3,87 B	55 ABb
	10-20	3,0 Bb	5,5 Aab	2 Bb	0,56 Ab	0,23 Bb	0,5 Ab	0,4 Aab	1,60 Ab	1,64 Ba	3,24 A	49 Bb
	20-40	2,9 Bb	5,3 Ab	3 Bb	0,49 Ab	0,30 Aab	0,5 Ab	0,1 Bb	1,39 ABb	1,85 Aa	3,24 A	43 Bb
Argissolo (PA)												
Pasto	0-5	8,9 ABa	5,8 Aa	6 Aa	0,79 Ba	0,88 Aa	1,2 Ba	0,6 Ba	3,46 Aa	1,11 Aa	4,57 ABa	76 Aa
	5-10	7,2 Aa	6,0 Aa	3 Bb	0,25 Bb	0,37 Ab	0,9 Aab	0,5 Ba	1,96 Bb	1,24 Aa	3,19 Bb	62 Aab
	10-20	3,9 ABb	5,9 Aa	2 Abc	0,12 Bc	0,30 Ab	0,7 Abc	0,4 ABa	1,48 Bb	1,01 Ba	2,48 Bb	60 Aab
	20-40	2,7 Ab	5,6 Aa	2 Bc	0,09 Cc	0,33 Ab	0,4 Ac	0,4 Aa	1,21 ABb	1,20 Ba	2,41 Ab	49 Ab
Cana	0-5	4,6 Ba	5,5 Aa	7 Aa	0,52 Ba	0,06 Ba	0,5 Ba	0,4 Ba	1,53 Ba	1,45 Aa	2,98 Ba	51 Ba
	5-10	4,1 Ba	5,2 Aab	6 Aab	0,48 Ba	0,05 Ba	0,4 Ba	0,3 Ba	1,25 Bab	1,78 Aa	3,03 Ba	42 Bab
	10-20	2,7 Ba	5,0 Bab	3 Ab	0,30 Bab	0,05 Ba	0,4 Ba	0,2 Ba	1,01 Bb	1,93 Ba	2,94 Ba	35 Bb
	20-40	3,0 Aa	4,8 Bb	4 Ab	0,18 Bb	0,06 Ba	0,3 Aa	0,3 Aa	0,84 Bb	2,18 Aa	3,01 Aa	28 Bb
Floresta	0-5	11,7 Aa	6,0 Aa	5 Aa	1,55 Aa	0,53 Aa	1,3 Ba	1,2 Aa	4,59 Aa	1,67 Aa	6,26 Aa	72 Aa
	5-10	8,5 Aab	5,7 Aa	3 Bab	1,06 Aab	0,56 Aa	0,5 Bb	1,0 Aa	3,17 Aab	1,95 Aa	5,12 Aab	63 Aa
	10-20	4,9 Bb	5,5 ABa	2 Ab	0,70 Ab	0,52 Aa	0,4 Bb	0,6 Ab	2,26 Ab	1,86 Ba	4,13 Aab	55 Aa
	20-40	4,6 Ab	5,4 ABa	2 Bb	0,39 Ab	0,57 Aa	0,4 Ab	0,4 Ab	1,72 ABb	1,72 Aa	3,43 Ab	52 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma coluna, ordem de solo e profundidade do solo (entre tratamentos), e mesma letra minúscula na mesma coluna, ordem de solo e cobertura vegetal (dentro do tratamento) não diferem entre si (P<0,05) pelo teste de Tukey. Legenda: Prof. – Profundidade no solo; Cob. Vet. – Cobertura Vegetal.

**Tabela 2** - Propriedades químicas dos solos nas áreas estudadas, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm.

Propriedade	Ordem de Solo	Pastagem	Cana	Floresta
0 a 5cm				
COS ** (g kg <sup>-1</sup> )	LA	6,6Aa	5,9Aa	5,6Ab
	PA	8,9ABa	4,6Ba	12,8Aa
pH <sup>NS</sup>		5,6AB	5,2B	6A
P <sup>NS</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	LA 5b	5A	7A	5A
	PA 6a			
K <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		0,63B	0,61B	1,43A
Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> NS (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		1,7A	0,9B	2,1A
SB <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		3,02A	1,56B	4,03A
Valor T <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		3,93B	3,35B	5,61A
Valor V <sup>NS</sup> (%)		77A	47B	70A
H+Al <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		0,91B	1,79A	1,58A
5 a 10 cm				
COS ** (g kg <sup>-1</sup> )	LA	5,2Ab	6,4Aa	4,2Ab
	PA	7,2Aa	4,1Bb	7,5Aa
pH <sup>NS</sup>		5,7A	5,0B	5,7A
P <sup>NS</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )		3B	6A	3B
K * (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	LA	0,18Ca	0,36Ba	0,64Ab
	PA	0,27Ca	0,41Ba	0,94Aa
Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> NS (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		1,1A	0,9B	1,1A
SB <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	LA 1,73b	1,85B	1,28C	2,65A
	PA 2,13a			
Valor T <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		2,9B	3,3B	4,5A
Valor V <sup>NS</sup> (%)		66A	40B	59A
H+Al <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		1,02B	2,00A	1,84A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na mesma linha e minúscula na mesma coluna para a mesma propriedade e profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). \* Interação significativa (5%); \*\* Interação altamente significativa (1%); <sup>NS</sup> Interação não significativa.

**Tabela 3** - Propriedades químicas dos solos nas áreas estudadas, nas profundidades de 10-20 cm e 20-40 cm.

Propriedade	Ordem de Solo	Pastagem	Cana	Floresta
10 a 20 cm				
COS ** (g kg <sup>-1</sup> )	LA	3,6Ba	5,2Aa	3,0Bb
	PA	3,9ABa	2,7Bb	4,9Aa
pH <sup>NS</sup>		5,6A	4,8B	5,5A
P * (mg kg <sup>-1</sup> )	LA	2Ba	7Aa	2Ba
	PA	2Aa	3Ab	2Aa
K <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		0,13C	0,25B	0,63A
Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		1,1A	0,7B	0,9AB
SB <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		1,54A	0,99B	1,93A
Valor T * (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	LA	2,2Ba	3,3Aa	3,2Ab
	PA	2,5Ba	2,9Ba	4,1Aa
Valor V <sup>NS</sup> (%)		67A	32C	52B
H+Al <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		0,82B	2,15A	1,75A
20 a 40 cm				
COS ** (g kg <sup>-1</sup> )	LA	3,1ABa	5,1Aa	2,9Bb
	PA	2,7Ba	3,0ABb	4,6Aa
pH <sup>NS</sup>		5,4A	4,7B	5,3A
P * (mg kg <sup>-1</sup> )	LA	1Ba	6Aa	3Ba
	PA	2Ba	4Ab	2Ba
K <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		0,09C	0,17B	0,44A
Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		0,9A	0,6A	0,7A
SB <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		1,37A	0,86B	1,55A
Valor T <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		2,3B	3,2A	3,3A
Valor V * (%)	LA	72Aa	27Ba	43Ba
	PA	49Ab	28Ba	52Aa
H+Al <sup>NS</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		0,92B	2,34A	1,78A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na mesma linha e minúscula na mesma coluna para a mesma propriedade e profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). \* Interação significativa (5%); \*\* Interação altamente significativa (1%); <sup>NS</sup> Interação não significativa.

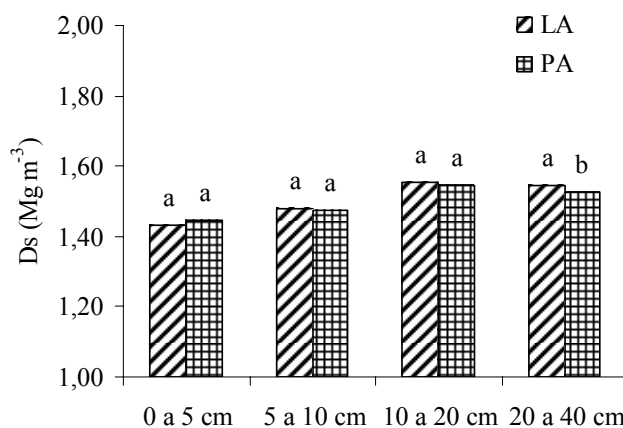


### 4.1.3 Densidade do solo

Os valores de densidade do solo ( $D_s$ ) variaram de 1,08 a 1,80  $\text{Mg m}^{-3}$ , apresentando-se semelhantes ao encontrado por Paiva et al. (2000) em estudos com solos de tabuleiros da Bahia, e por Sá et al. (2003) em solos de Tabuleiro no Espírito Santo. Em estudos nos solos dos Tabuleiros Costeiros em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro (RJ), Nascimento (2001) encontrou valores intermediários e com menor variação (1,21 a 1,39  $\text{Mg m}^{-3}$ ). Porém, os valores médios encontrados por Nascimento (2001) (1,32  $\text{Mg m}^{-3}$ ) e Sá et al. (2003) (1,10  $\text{Mg m}^{-3}$ ) foram inferiores aos observados nas áreas (1,52  $\text{Mg m}^{-3}$ ). Os valores médios verificados neste estudo são considerados elevados, porém comuns em solos de tabuleiro (SOUZA, 1996).

Os valores médios de  $D_s$ , encontrados na faixa de profundidade de 0 a 40 cm, se aproximaram dos valores encontrados por Peixoto e Manhães (dados não publicados) na profundidade de 40 a 60 cm (1,60 a 1,70  $\text{Mg m}^{-3}$ ) em trinta e duas áreas sob diferentes coberturas vegetais em tabuleiros costeiros da região Norte Fluminense, RJ. Tal fato, sugere que o adensamento dos solos, nas áreas estudadas, parece estar mais próximo da superfície do que nas áreas estudadas por Peixoto e Manhães.

Praticamente não houve diferença significativa entre as duas ordens de solo quanto aos valores de  $D_s$  (Figura 9), embora as amostras de LA apresentassem, em média, 35% a mais de argila que as de PA, no entanto, a semelhança de  $D_s$  entre as ordens de solo pode ser atribuída aos maiores valores de carbônico orgânico do solo (COS) verificados em PA. Além disso, a matéria orgânica (MO) associada à textura mais arenosa do PA, principalmente nas camadas superficiais, imprime uma maior velocidade de decomposição, contribuindo para aumentar a formação das substâncias húmicas, favorecendo a agregação das partículas e, conseqüentemente, redução da  $D_s$ .



**Figura 9** - Densidade do solo ( $D_s$ ) nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

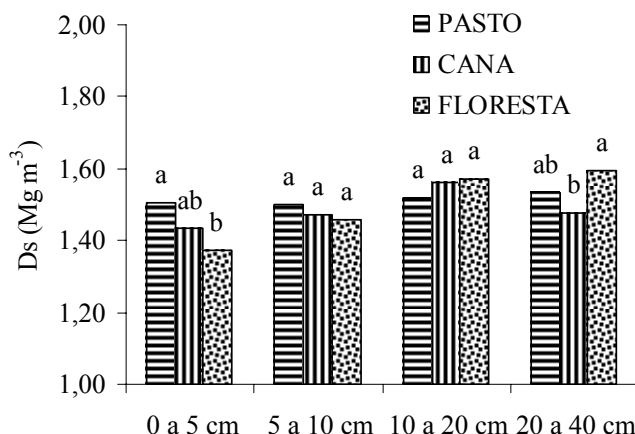
Os resultados de  $D_s$  para as diferentes coberturas vegetais, apresentados na Figura 10, não demonstraram expressivas diferenças entre os valores, independente das coberturas e profundidades estudadas. Nos estudos de Sá et al. (2003) os autores observaram menores valores de  $D_s$  nas áreas com vegetação nativa, não ocorrendo diferença entre as áreas com pastagens e com cultura de café. Esse comportamento também foi observado nas áreas de cana e de pastagem estudadas. Tem sido constatado nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, além do adensamento, a presença de camadas compactadas resultantes do preparo inadequado do solo e do excessivo uso de

máquinas, sendo responsáveis pela redução da produtividade da cultura em solos de tabuleiros (SOUZA, 1996).

A cobertura de pasto apresentou, nas camadas mais superficiais (0-5 cm), valores significativamente maiores de Ds do que a vegetação natural, provavelmente devido ao efeito da compactação decorrente do pastejo animal e, a cobertura cana se diferenciou da floresta na maior profundidade o que pode estar associado á prática de incorporação do material queimado da cana. As áreas com cobertura de floresta apresentaram aumento nos valores de Ds em profundidade (10 a 20 cm e 20 a 40 cm) e menores em superfície (0 a 5 cm e 5 a 10 cm), concordando com que foi observado por Nascimento (2001) e Sá et al. (2003) em seus estudos em solos de tabuleiros. Segundo os autores, este comportamento ocorre devido a um adensamento natural nestas camadas de solo, podendo estar relacionadas a gênese desses solos e não, propriamente, ao efeito da vegetação ou manejo empregado nas áreas cultivadas.

Maia & Ribeiro (2004) estudando Argissolos Amarelos de tabuleiros no Estado de Alagoas, constataram os maiores valores de Ds ( $1,57 \text{ Mg m}^{-3}$ ) a partir dos 0,30 cm de profundidade, associado ao horizonte Bt sob vegetação nativa. Contudo, Silva & Ribeiro (1992), também estudando Argissolos Amarelos de tabuleiros sob floresta em Alagoas, constaram diminuição da diferença observada nos valores de densidade entre horizontes A (0-20 cm) e BA (20-40 cm), em relação às áreas cultivadas com cana-de-açúcar por períodos de 5, 15 e 25 anos.

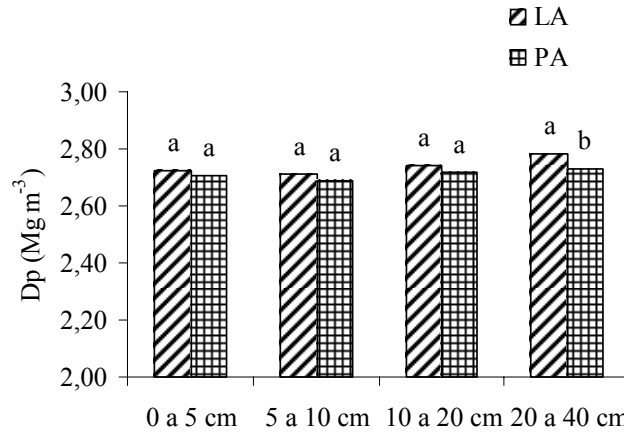
A elevação da Ds nas camadas mais superficiais pode ser um indicador (índice) de alteração antrópica dos solos que pode ser adotado para estimar o efeito ambiental dos sistemas de produção agrícola.



**Figura 10** - Densidade do solo (Ds) nas diferentes coberturas e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

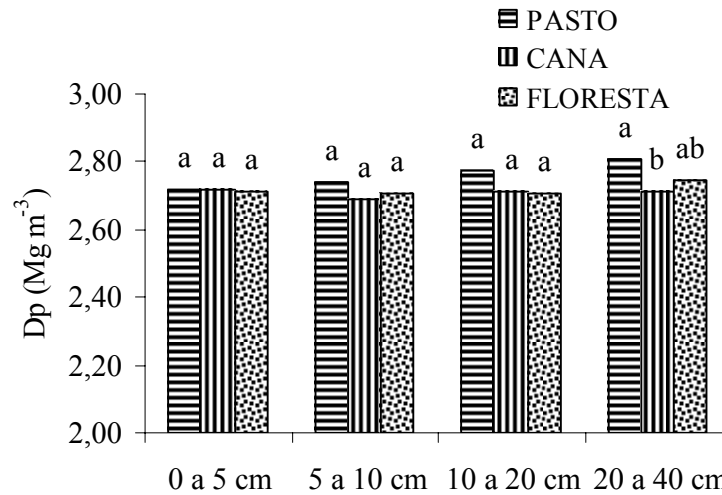
#### 4.1.4 Densidade das partículas

Quanto aos valores da densidade da partícula ( $D_p$ ) estes variaram de  $2,55$  a  $3,03 \text{ Mg m}^{-3}$  (Figura 11). Os menores valores de  $D_p$  foram verificados para a ordem dos PA. No entanto, os menores valores de  $D_p$  para essa ordem, possivelmente são decorrentes do maior conteúdo de carbono orgânico observados nas camadas superficiais. Nos estudos de Nascimento (2001) o autor encontrou valores semelhantes, situando-se na faixa de  $2,57$  a  $2,66 \text{ Mg m}^{-3}$ . Para ambas as ordens de solo verificam-se que os valores de  $D_p$  estão próximos aos valores da massa específica da caulinita e do quartzo ( $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ ), refletindo a mineralogia dos principais constituintes desse solo.



**Figura 11** - Densidade das partículas (Dp) nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

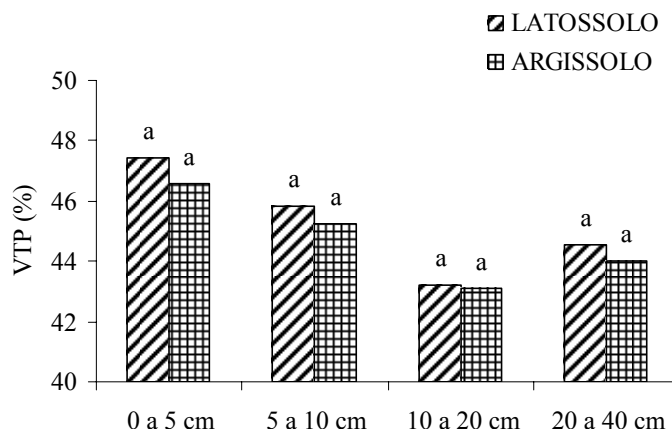
Para as diferentes coberturas, verifica-se somente que na maior profundidade (20-40 cm) houve diferença significativa entre os valores de Dp para as coberturas vegetais, não ocorrendo diferença entre as coberturas nas outras profundidades (Figura 12). A homogeneidade da Dp entre as áreas estudadas revela a similaridade das ordens dos solos em relação ao seu material de origem e a ausência de efeito das coberturas vegetais.



**Figura 12** - Densidade das partículas (Dp) nas diferentes coberturas e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

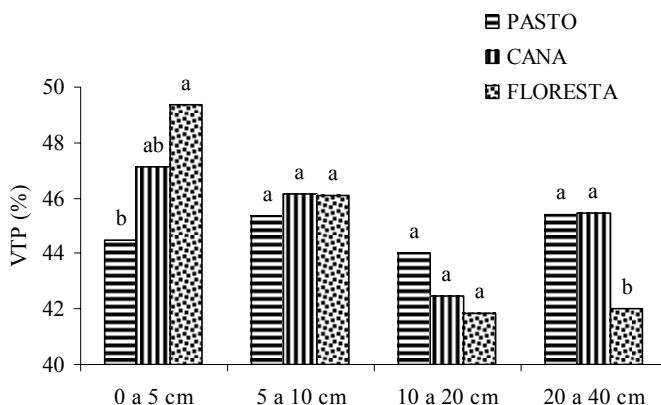
#### 4.1.5 Volume total de poros

Quanto ao volume total de poros (VTP%), Figuras 13 e 14, não foi verificada diferença significativa entre as ordens de solo, demonstrando que este parâmetro não esta sendo influenciado pelo tipo de solo. Os valores encontrados variaram entre 33 e 59 %, com valor médio na ordem de 45 %. Esses valores são semelhantes aos observados nos solos dos tabuleiros, conforme relatados por Jacomine (2001).



**Figura 13** – Volume Total de Poros (VTP%) nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De forma geral, os valores de VTP decrescem em profundidade independentemente do solo e da cobertura vegetal. Entretanto, as áreas de pasto apresentam valores menores próximos à superfície e maiores em profundidade, indicando a influência das práticas do super pastejo. Já nas áreas com cana e floresta natural, a diminuição dos valores de VTP% em profundidade pode estar revelando o efeito natural da presença do horizonte coeso. O maior e o menor valor para VTP% (33 e 59 %) foram encontrados nas áreas com floresta natural, sendo estes próximos aos encontrados por Nascimento (2001). Silva & Ribeiro (1992), verificaram maiores valores de porosidade (50 %) no horizonte A (0-20 cm) em Argissolos Amarelos textura média sob cobertura de floresta nativa no Estado de Alagoas, sendo constatado uma diminuição dos valores de porosidade total do solo com o aumento do tempo de cultivo, 5, 15 e 25 anos.



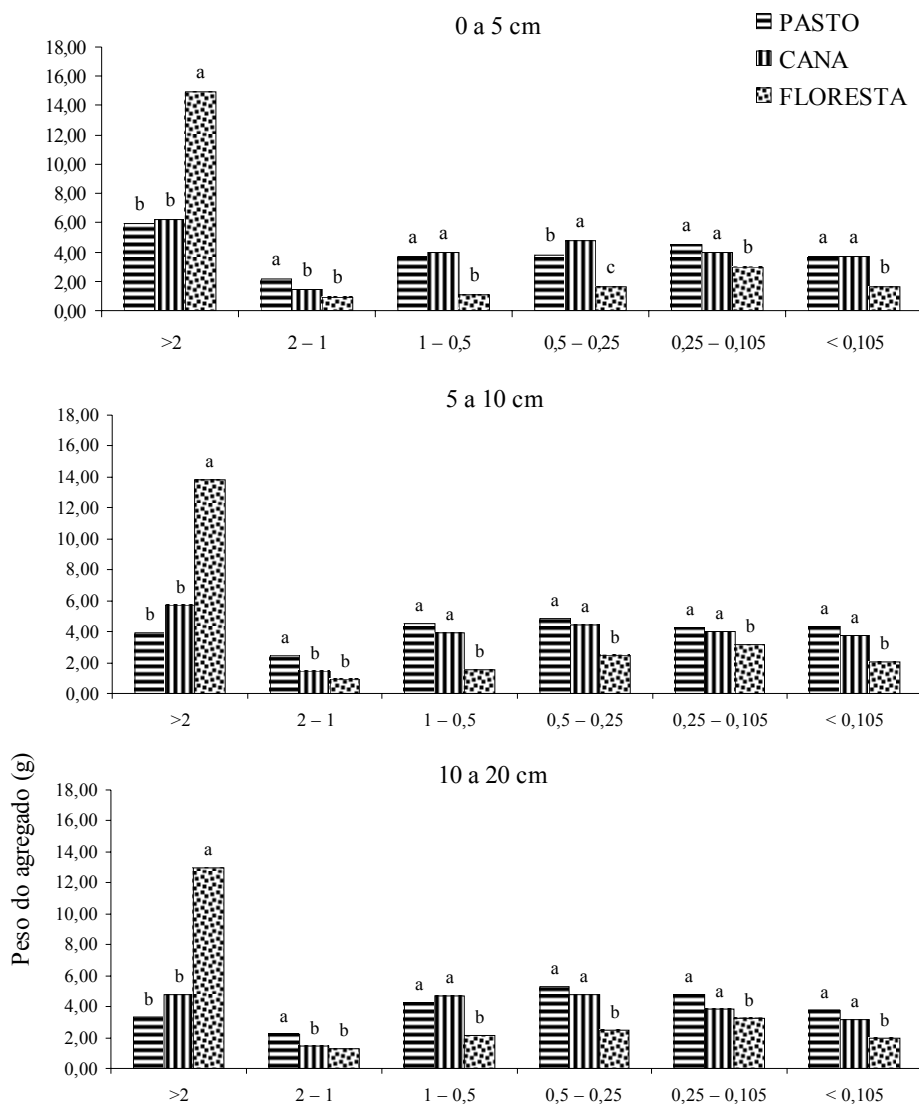
**Figura 14** – Volume Total de Poros (VTP) nas diferentes coberturas vegetais e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

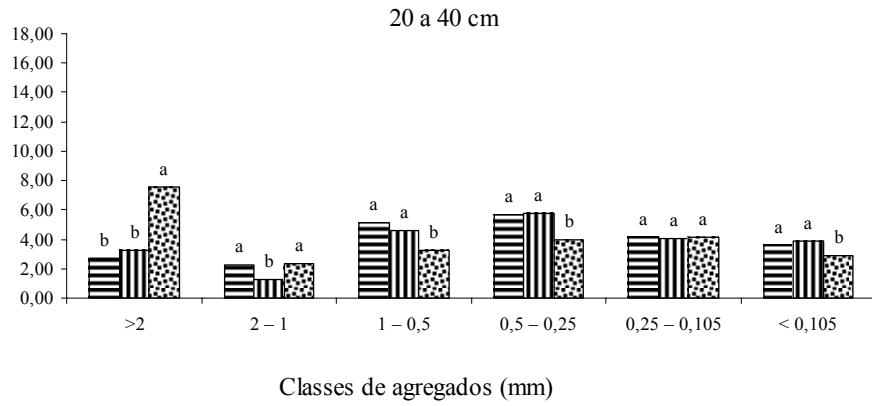
#### 4.1.6 Distribuição dos agregados e diâmetro médio ponderado

As Figuras 15 e 16 demonstram que a classe dos agregados de maior diâmetro (>2 mm) foram as que apresentaram os maiores valores de pesos, indicando uma maior influência desse diâmetro na distribuição dos agregados no cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP) e no diâmetro médio geométrico (DMG). Para estes parâmetros, a cobertura de floresta apresentou os maiores valores em todas as profundidades

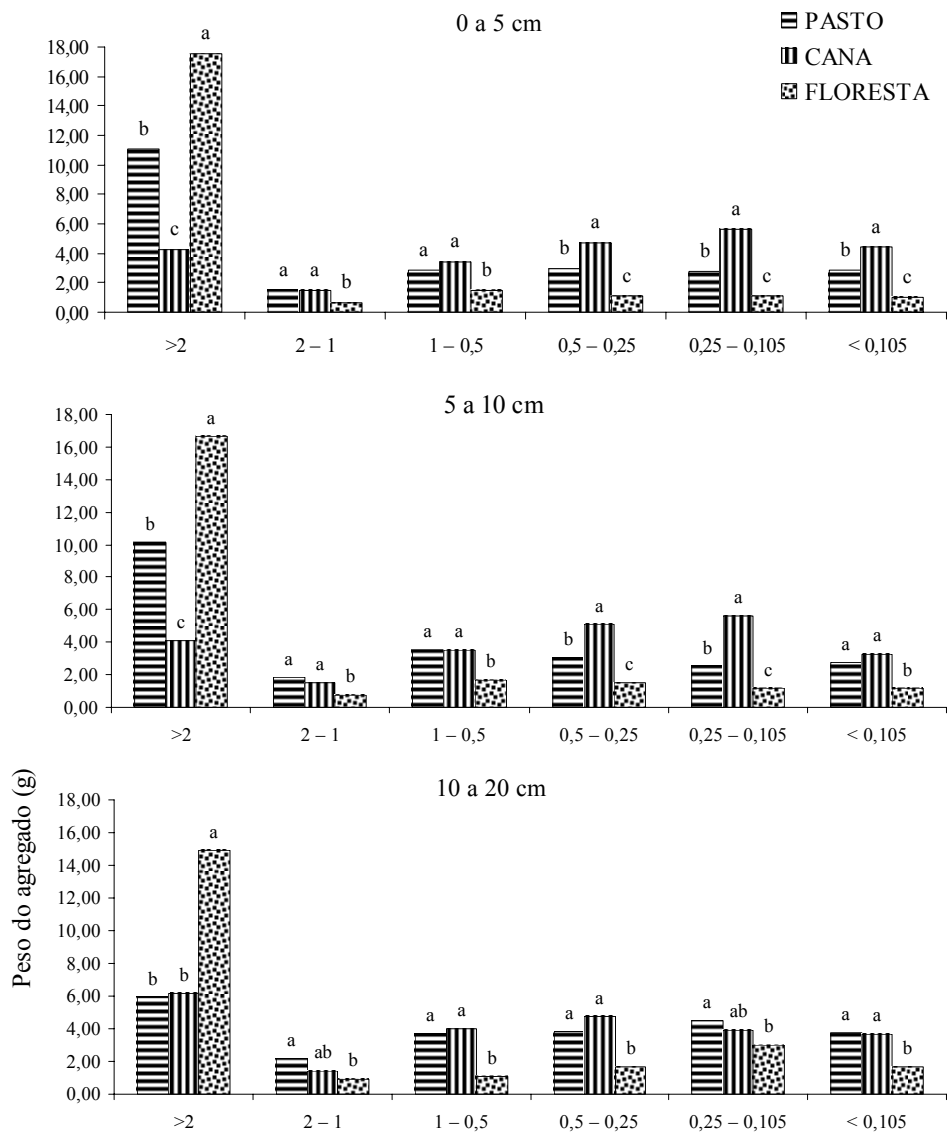
independentes da ordem de solo ou cobertura vegetal. Para a ordem dos LA não houve diferença significativa entre as coberturas pasto e cana para o peso de agregados > 2 mm. No entanto, a área de cana foi a que apresentou os valores mais elevados. Ainda relacionado a essa classe de agregados nos PA, a cobertura de pasto foi a que apresentou os valores mais elevados do que os observados nos LA, se diferenciando estatisticamente da cobertura cana nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm.

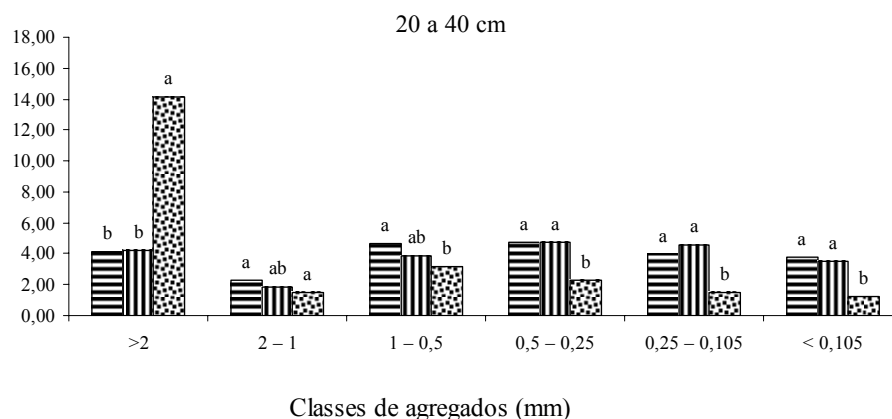
Analisando a distribuição das classes de agregados em profundidade, pode-se notar um aumento da participação das classes de menor diâmetro, em maiores profundidades sendo esta tendência geralmente observada nos solos (JUMA, 1993). Contudo, o peso da participação das menores classes na distribuição dos agregados foi maior nas áreas com menores teores de MO e com uso agrícola (cana e pasto). Pinheiro et al. (2004) também observou comportamento similar aos verificados neste estudo, em áreas de LV de textura argilosa não cultivadas comparadas com áreas submetidas a diferentes sistemas de manejo agrícola.





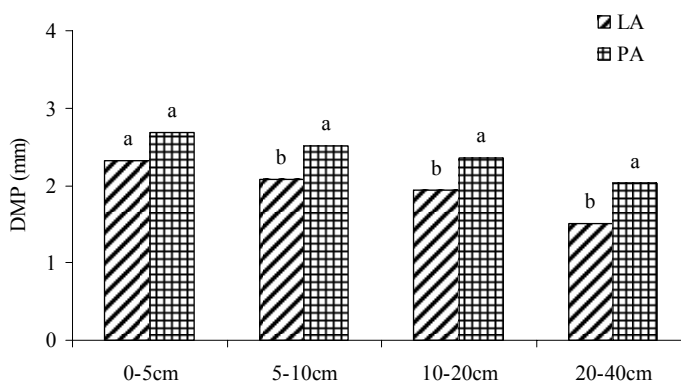
**Figura 15** – Distribuição das classes de agregados em Latossolos Amarelos sob diferentes coberturas vegetais e profundidades do solo. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade e classe de agregados não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.





**Figura 16** – Distribuição das classes de agregados em Argissolos Amarelos sob diferentes coberturas vegetais e profundidades do solo. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade e classe de agregados não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De forma geral, os valores absolutos de DMP apresentaram uma grande variação, entre 0,54 a 4,35 mm. Observa-se na Figura 17, que a ordem dos PA foi a que apresentou maiores valores de DMP quando comparada aos LA. Este comportamento pode ser decorrente do maior conteúdo de COAGR associados textura mais arenosa verificada nas camadas superficiais dessa ordem de solo. Da mesma forma que foi verificado para a Ds, o maior conteúdo de areia parece estar favorecendo a humificação da MO, gerando uma maior produção de substâncias húmicas (humina, ácidos húmicos e fúlvicos) que irão promover a cimentação das partículas do solo contribuindo desta forma para a melhoria na agregação e valores mais elevados de DMP.

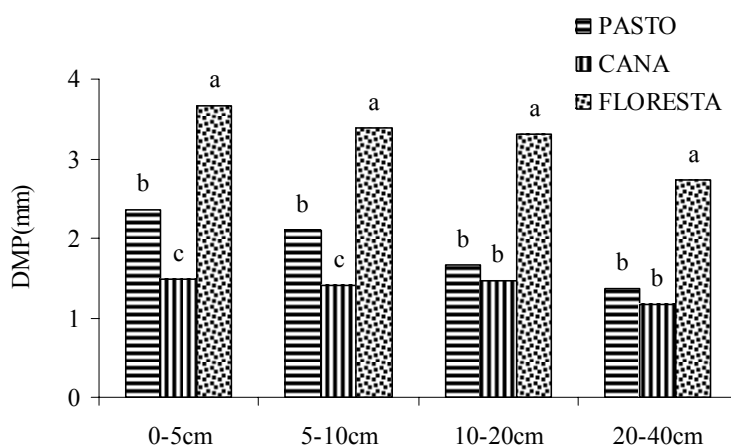


**Figura 17** - Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quanto às coberturas vegetais, verifica-se que houve diferença significativa entre os valores de DMP (Figura 18). A cobertura de floresta foi a que apresentou os maiores valores de DMP. Esse comportamento pode ser decorrente de uma maior adição de MO ao solo via serrapilheira. Já a área de plantio de cana-de-açúcar foi a que apresentou os menores valores para o DMP, provavelmente em resposta ao sistema de manejo adotado, que consiste no preparo tradicional do solo (aração) e colheita da cana mediante a queima prévia. Estes dois fatores contribuem para a redução da estabilidade dos agregados. Esse efeito também foi observado por Silva & Ribeiro (1992), estudando o cultivo contínuo de cana-de-açúcar em Argissolos Amarelos de textura média em

tabuleiros no Estado de Alagoas, onde constatarem a redução da quantidade de macroagregados em função do tempo de cultivo da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, por influência da aração e tratos culturais, que contribuíram para a degradação da estrutura.

A cobertura de pasto apresentou valores intermediários quando comparadas às outras coberturas vegetais. Sá et al. (2003), verificaram o efeito de acúmulo de COS em menores profundidades (0-5 cm), predominantemente, nas coberturas de pasto e floresta. Nas áreas com pastagens, a adição de MO, via renovação do sistema radicular associada à ação mecânica das raízes, parece favorecer a aproximação das partículas unitárias, contribuindo para a manutenção e aumento da estabilidade dos agregados. Maia & Ribeiro (2004) também observaram esse comportamento em relação aos aspectos do sistema radicular fasciculado da cana, característico nas gramíneas, apresentando tendência de melhoria das propriedades estruturais do horizonte A, entre os períodos de dois a trinta anos de cultivos contínuos de cana em Argissolos Amarelos de tabuleiros no Estado de Alagoas.



**Figura 18** - Diâmetro médio ponderado (DMP) nas diferentes coberturas e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

#### 4.1.7 Diâmetro médio geométrico

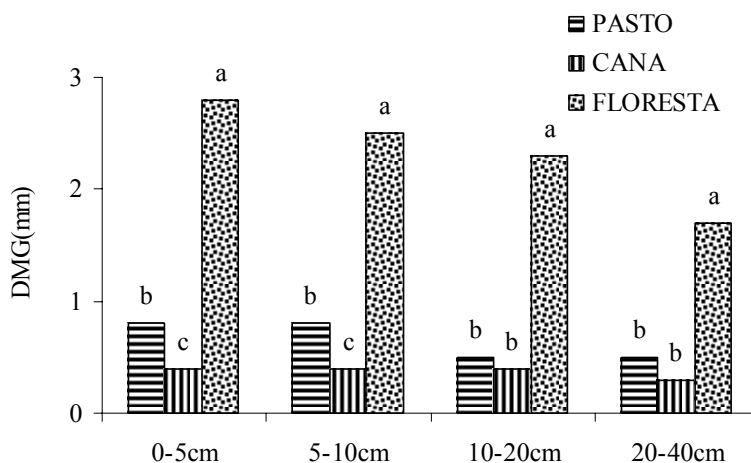
Observa-se na Tabela 4 que a ordem PA apresentou maiores valores quando comparada com LA, embora não tenham sido verificada diferença entre o DMG para os solos estudados, sendo este comportamento semelhante ao encontrado para o DMP. Similaridades entre DMP e DMG também foram observadas por Pinheiro et al. (2004) estudando o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo e cobertura vegetais em Latossolo Vermelho no município de Paty do Alferes (RJ). Os autores, comparando os efeitos dos manejos agrícolas, usando como testemunha cobertura de gramíneas e área sem cobertura vegetal, observaram valores de DMP e DMG bastante semelhantes entre o sistema convencional de cultivo e a área sem cobertura e, o sistema de plantio direto em relação à área com cobertura de gramíneas.

**Tabela 4** – Valores de diâmetro médio geométrico (mm) nas diferentes ordens de solo e profundidades.

Ordens de Solo	Profundidades (cm)			
	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 40
Latossolo	1,11	1,00	0,92	0,61
Argissolo	1,51	1,44	1,26	1,07



Em relação às coberturas vegetais, observa-se na Figura 19 que os valores de DMG novamente seguem a mesma tendência dos valores de DMP. Os maiores valores foram verificados na cobertura de floresta e os menores valores na cobertura cana, apresentando a pastagem valores intermediários. Segundo Pinheiro et al. (2004), os valores de DMP e DMG mais baixos nas áreas manejadas são indicativos da grande perda do potencial produtivo através da diminuição constante da fertilidade e da sustentabilidade da produção vegetal, resultado de manejos agrícolas inadequados.



**Figura 19** - Diâmetro médio geométrico (DMG) nas diferentes coberturas e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

#### 4.1.8 Índice de sensibilidade

O índice de sensibilidade (IS) tem o objetivo de comparar a influência dos diferentes tipos de cobertura vegetal e formas de manejo na estabilidade dos agregados do solo. O IS é calculado através dos valores de DMP, sendo empregado para a determinação do grau de alteração das áreas estudadas. Segundo Bolinder et al. (1999), é possível inferir algumas conclusões baseando-se na relação existente entre o valor do DMP do solo considerado em cada sistema de manejo testado e o valor do DMP do solo em condição natural, no caso, com floresta secundária.

Através da Tabela 5, observa-se que a área de pasto apresentou um IS médio maior (0,57) do que a área sob cana (0,46). Também, os IS médios das duas ordens de solo estudados sob pastagens (LA=0,55; PA=0,60) foram superiores aos solos sob cobertura cana (LA=0,38 ;PA=0,54). De forma geral, PA apresentou valores maiores de IS quando comparados a LA, com exceção das profundidades de 20-40cm, onde LA foi superior. Os maiores teores de COAGR presentes em PA (Tabela 6), sobretudo nos agregados de classes de maior diâmetro (classes I e II) explicam o comportamento verificado em PA.

De acordo com os resultados de IS, pode-se concluir que a ordem PA e a cobertura pasto se comportaram de forma mais semelhante às condições de solo preservado de floresta. Esse comportamento pode estar indicando um estado, relativamente, melhor da estabilidade do solo nessas áreas.

**Tabela 5** - Índice de Sensibilidade nos diferentes tipos de coberturas vegetais.

Cobertura	IS <sup>1</sup>	Solo	IS <sup>1</sup>	Profundidade (cm)			
				0-5	5-10	10-20	20-40
Pasto	0,57	LA	0,55	0,55	0,49	0,45	0,69
		PA	0,60	0,69	0,70	0,50	0,53
Cana	0,46	LA	0,38	0,31	0,33	0,43	0,45
		PA	0,54	0,51	0,54	0,53	0,58

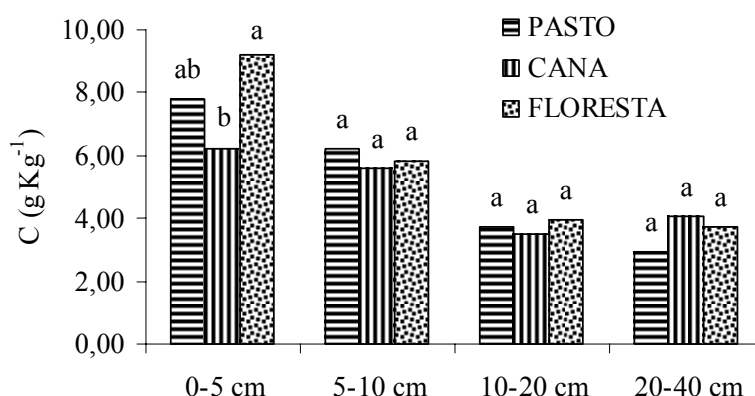
<sup>1</sup> Valores médios de cinco repetições de IS.

## 4.2 Avaliação da Matéria Orgânica e suas Frações nos Solos em Função da Cobertura Vegetal e Ordem de Solo

### 4.2.1 Carbono orgânico do solo

Na Figura 20 pode-se observar que os teores de COS encontrados foram bastante baixos. Nos horizontes superficiais dos solos LA e PA das regiões de tabuleiros, mesmo em solos argilosos sob vegetação natural raramente verificam-se valores acima de 1,5%, sendo comum teores ao redor de 10 g kg<sup>-1</sup> ou inferiores (SOUZA, 1996; JACOMINE, 2001). De forma geral, os valores variaram de 1,7 a 22,0 g kg<sup>-1</sup>, a média geral foi de 5,2 g kg<sup>-1</sup>.

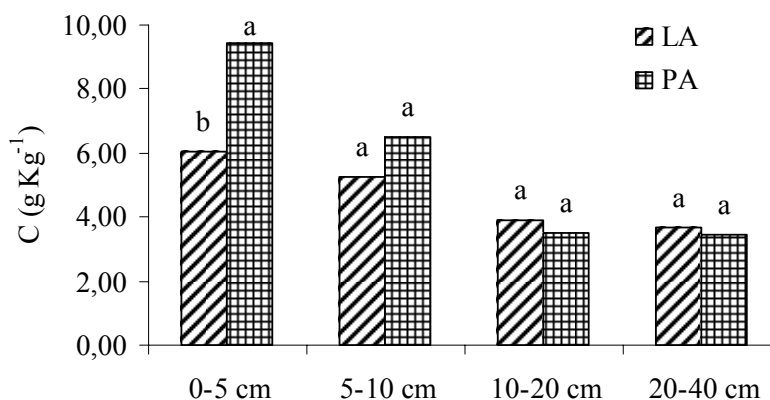
Os maiores valores absolutos foram observados nas áreas com cobertura de floresta (22,0 g kg<sup>-1</sup>) e os menores valores nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar (1,7 g kg<sup>-1</sup>). Os valores médios de COS somente apresentaram diferença significativa, entre as coberturas vegetais na profundidade de 0-5 cm, onde ocorreu diminuição de 37% do COS da área de floresta para a área de cultivada com cana-de-açúcar. A camada mais superficial do solo é onde, para a maioria dos solos, verificam-se os maiores valores de carbono orgânico. Na área de floresta a adição via serrapilheira proporcionou os maiores valores de COS, sendo esta, seguida pela área de pasto. A área de cana-de-açúcar diferenciou-se estatisticamente das demais, os menores valores observados nesta área podem ser decorrentes do conjunto de práticas adotadas para a implantação e condução do canavial. Urquiaga et al. (1997) relataram que o uso da queima da palhada para facilitar a colheita da cana, promove a perda de, no mínimo, cerca de 10 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de palha que representam mais de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de C-CO<sub>2</sub>, reduzindo a fertilidade dos solos e a vida média dos canaviais.



**Figura 20** – Teor de carbono orgânico nas diferentes coberturas vegetais e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os níveis de COS são influenciados pelas diferentes formas de uso a que estes são submetidos, no entanto, verificam-se valores geralmente mais elevados nas pastagens do que nos campos agrícolas (BRONICK & LAL, 2005). Sá et al. (2003), trabalhando com solos coesos da região norte do Estado do Espírito Santo, também constataram menores níveis de COS do solo nas áreas cultivadas com café. Em áreas de Latossolos Vermelhos sob cultivo tradicional na região de Passo Fundo – RS por longo período de tempo (9 anos), Freixo et al. (2002) observaram uma redução de 47% do carbono na profundidade de 0-5 cm. Maia & Ribeiro (2004) observaram redução de 42% de COS após 30 anos de cultivo de cana-de-açúcar no horizonte A (0-17 cm) em Argissolos Amarelos de tabuleiros no Estado de Alagoas.

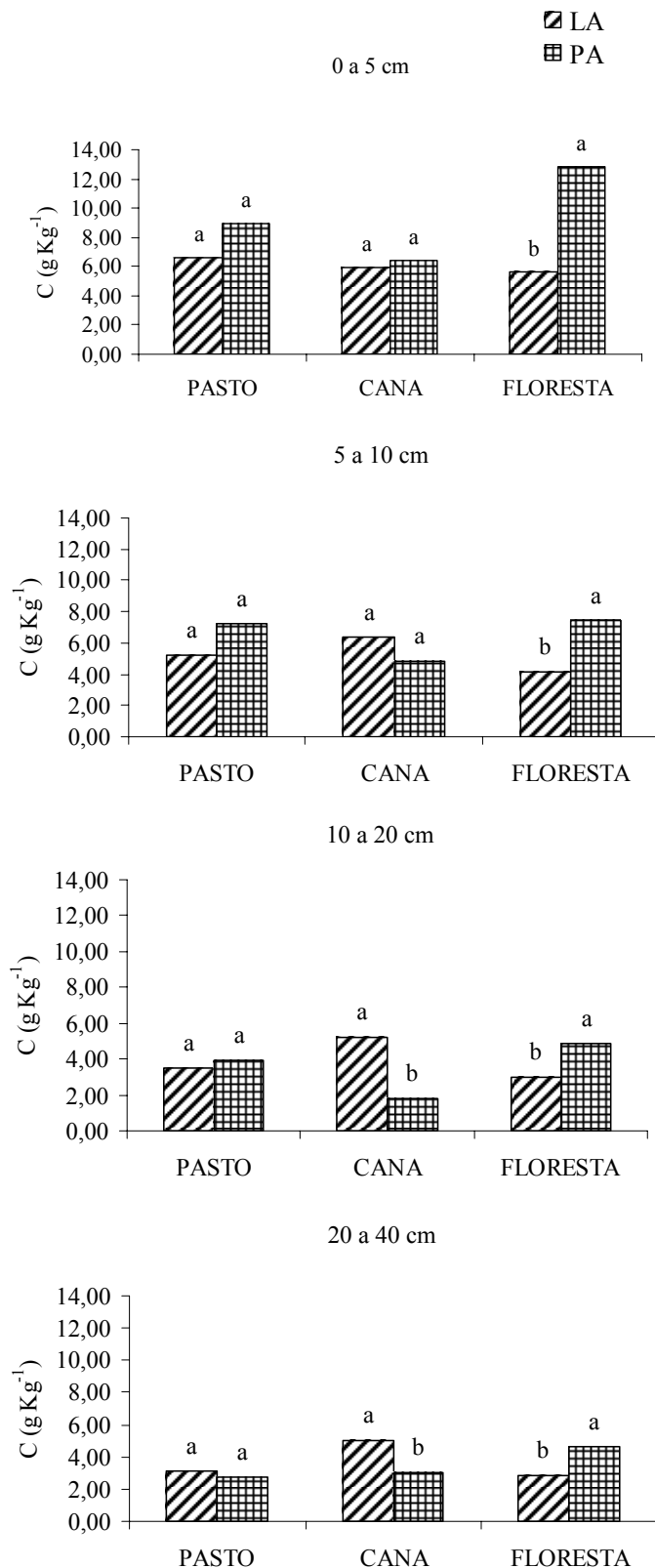
Os maiores teores de COS foram verificados na ordem dos PA nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Figura 21). Este comportamento também foi verificado por Souza (1996) em perfis de Argissolos Amarelos (antigos Podzólicos Amarelos) localizados em Feira de Santana – BA e Umbaúba – SE. Tal fato sugere que as áreas de solo PA, que possuem uma textura mais arenosa em superfície, quando submetidas a práticas de manejo intensivas, tem reduzido os seus valores de carbono orgânico em uma maior magnitude quando comparadas as áreas de LA.



**Figura 21** – Teor de carbono orgânico nas diferentes ordens e profundidades dos solos, no município de Campos de Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em relação as diferentes profundidades estudadas, os valores de COS observados foram menores do que os encontrados por Souza (1996), Rezende (2000), Nascimento (2001), Jacomine (2001), Sá et al. (2003) e Lima et al. (2004) em solos dos Tabuleiros Costeiros. Os baixos teores de COS, a textura extremamente arenosa encontrada nos solos estudados e o efeito das coberturas agrícolas revelam a fragilidade estrutural do solo e conseqüentemente a sua maior suscetibilidade à erosão.

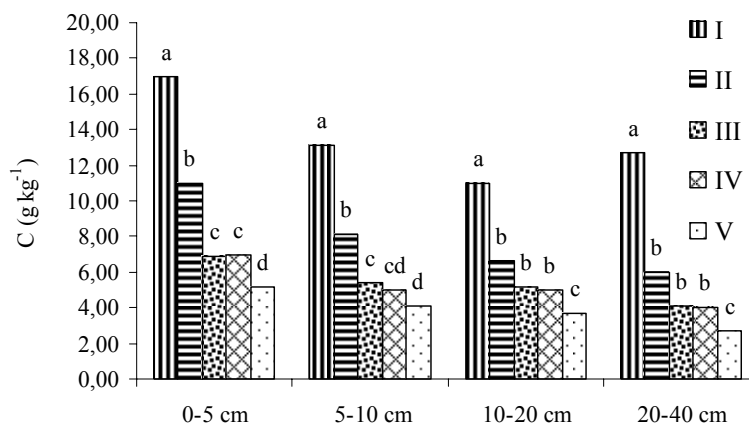
Observa-se na Figura 22, que a ordem LA apresenta aumento dos valores de COS em profundidade, enquanto que os teores de COS de PA diminuem. Esse comportamento do COS entre LA e PA não é observado nas áreas de floresta, sugerindo que as condições de uso do solo relacionado às coberturas vegetais sejam responsáveis por essa diferença. A manutenção dos níveis de fertilidade nos solos dos tabuleiros parece estar associada ao enriquecimento e manutenção da MO nesses solos (SOUZA, 1996).



**Figura 22** – Carbono orgânico do solo nas diferentes coberturas vegetais, ordens e profundidades dos solos, no município de Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra para mesma cobertura vegetal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

## 4.2.2 Carbono orgânico dos agregados

Os valores de carbono orgânico dos agregados (COAGR) variaram entre 2,3 e 18,5 g kg<sup>-1</sup>, verificando-se que os maiores valores de COAGR ocorreram nas classes de agregados de maior diâmetro independente do solo, profundidade e tipo de cobertura vegetal estudados. Em contrapartida, observa-se que os menores teores de carbono orgânico ocorreram nas classes de agregados de menor diâmetro (Figura 23).



**Figura 23** - Teor de carbono orgânico nas diferentes classes de agregados e profundidades dos solos. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Legenda I, II, III, IV e V, correspondem à faixa de diâmetro de  $8,0 \geq X > 2,0$  mm, de  $2,0 \geq X > 1,0$  mm, de  $1,0 \geq X > 0,5$  mm, de  $0,5 \geq X > 0,25$  mm e de  $0,25 \geq X > 0,105$  mm, respectivamente.

Lima et al. (2003) verificaram comportamento similar ao observado neste estudo trabalhando com Planossolo sob diferentes sistemas de manejo agrícola. Em seus estudos, os autores observaram que os agregados entre 1,00 mm e 0,105 mm, não foram significativamente alterados pelos diferentes sistemas de manejo empregados. Este comportamento ocorre em razão dos agregados com esse diâmetro, serem mais estáveis por ocasião do umedecimento e, por si, constituírem-se, predominantemente, por partículas de pequenas dimensões (2-20  $\mu$ m de diâmetro) unidas por diversas substâncias cimentantes, como óxidos, aluminossilicatos e materiais orgânicos, de tal forma, a não serem facilmente rompidos pelas práticas agrícolas. Este comportamento demonstra a importância da participação do carbono orgânico como um dos elementos responsáveis pela estabilização dos agregados, em especial, para os agregados de maior diâmetro.

Em relação às ordens de solo, PA e LA apresentaram semelhança quanto à distribuição dos teores de COAGR nos diferentes intervalos de classes estudados (Tabela 6). Entretanto PA apresentou valores, em média 36% maiores, diferenciando-se significativamente nas duas classes de agregados de maior diâmetro (I e II) e, também, na classe de menor diâmetro (V).

**Tabela 6** – COAGR (g kg<sup>-1</sup>) nas diferentes classes de agregados e ordens de solo.

Classes de Agregados	Ordens de Solo	
	ARGISSOLO	LATOSSOLO
I	16,7 Aa	10,8 Ab
II	10,0 Ba	7,2 Bb
III	6,3 Ca	5,3 Ca
IV	6,2 Ca	5,2 Ca
V	5,1 Da	3,5 Db

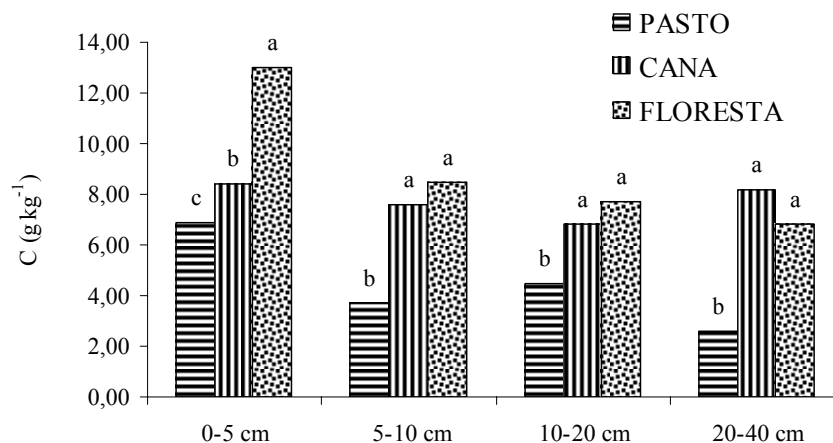
Médias seguidas pela letra maiúscula na mesma coluna e mesma letra minúscula na mesma linha não diferem entre si ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. Legenda: I, II, III, IV e V, correspondem à faixa de diâmetro de  $8,0 \geq X > 2,0$  mm, de  $2,0 \geq X > 1,0$  mm, de  $1,0 \geq X > 0,5$  mm, de  $0,5 \geq X > 0,25$  mm e de  $0,25 \geq X > 0,105$  mm, respectivamente.

Foram verificadas diferenças significativas nos teores COAGR para as coberturas vegetais e ordens de solo nas diferentes profundidades (Figuras 24 e 25). Os maiores valores de COAGR foram verificados na área de floresta para o solo PA. Os menores teores de COAGR foram observados nas áreas sob cana-de-açúcar e pastagem sobre LA, indicando que nestas áreas a transformação da MO ocorre de maneira mais rápida.

Os maiores valores de COAGR para as áreas de floresta podem ser explicados pela adição de MO depositada no solo via serrapilheira. Tal comportamento também foi verificado por Six et al. (1999) estudando solos do Colorado (USA) com diferentes coberturas vegetais e por Pinheiro (2004), em Latossolo Vermelho submetido a diferentes formas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ).

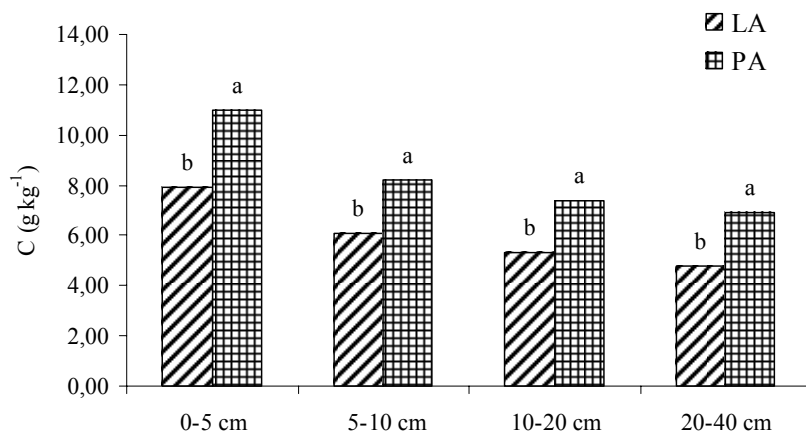
A análise nas diferentes profundidades, na Figura 24, demonstra que o teor de COAGR nas áreas de cana aproximou-se aos valores obtidos na área de floresta, chegando a ser mais elevado na profundidade de 20-40 cm. Esse efeito está relacionado com os teores de COS, observados na Figura 20. Nas áreas de cana os maiores valores de carbono nesta profundidade podem ser decorrentes da renovação do seu sistema radicular, que ocorre a cada ciclo de cultivo, promovendo uma maior adição de carbono orgânico ao solo. Apesar de ambas áreas possuírem culturas (cana e pasto) que pertencem à mesma família (Gramíneas), as piores condições edáficas verificadas nas áreas de pasto parecem estar sendo prejudicial à manutenção dos teores de COAGR nesta área.

As áreas de pastagem estudadas são compostas, predominantemente, por *Paspalum notatum* e *Brachiaria decumbens*, e foram formadas a mais de 10 anos, sendo que até a data da realização das coletas, não haviam sido realizadas adubações de correção nem reforma da pastagem. Estes fatores parecem estar contribuindo para uma menor adição de carbono orgânico no solo e, conseqüentemente, nos agregados. Além disso, o efeito do excesso de lotação de animais no pasto pode estar desfavorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e com isto os teores de COS para compor os agregados nas maiores profundidades (Figura 24).



**Figura 24** - Teor de carbono orgânico dos agregados nas diferentes coberturas vegetais e profundidades dos solos. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As diferenças significativas para os valores de COAGR entre as ordens de solo ocorreram em todas as profundidades (Figura 25), apresentando pequena variação entre elas. Esse comportamento pode estar relacionado à textura bastante arenosa identificada em ambas às ordens (Figura 7).



**Figura 25** - Teor de carbono orgânico dos agregados nas diferentes ordens e profundidades dos solos. Médias seguidas de mesma letra para a mesma profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

### 4.2.3 Nitrogênio e fracionamento da matéria orgânica

Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 são apresentados os teores de nitrogênio (N), humina (HU), ácido Fúlvico (AF), ácido Húmico (AH) e carbono orgânico (CO) encontrados em LA e PA nas diferentes coberturas vegetais.

Verificou-se para nitrogênio, que houve diferenças significativas entre os tipos de cobertura somente para a profundidade de 0-5 cm (Tabela 7), destacando-se floresta secundária com o maior teor de nitrogênio em ambos os solos estudados.

Em relação ao CO, não foram verificadas diferenças significativas em nenhuma das profundidades, nem entre as coberturas ou entre solos. Este fato pode ser decorrente da textura arenosa verificada nas ordens de solo, que contribui para uma mais rápida decomposição da MO (Figura 6 e 8). Este comportamento difere do verificado por Fontana et al. (2001) trabalhando com solos da mesma região sob diferentes coberturas vegetais (pasto, floresta secundária e cana-de-açúcar). O autor observou que ocorreram diferenças significativas para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm tanto para coberturas quanto para solos, referentes ao carbono orgânico do solo, encontrando os maiores valores para a ordem dos LA sob floresta secundária. Embora não tenham sido verificadas diferenças significativas, observa-se uma tendência desse comportamento nos solos estudados, principalmente na profundidade de 5-10 cm.

Os resultados encontrados também diferiram de Mendonza et al. (2000) que estudaram as propriedades químicas e biológicas de PA em tabuleiro no Estado do Espírito Santo, cultivados com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. Esses autores observaram, no sistema cana queimada, valores superiores para N ( $0,9 \text{ g kg}^{-1}$ ) e CO ( $6,6$  a  $8,0 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação aos observados aqui. Estas propriedades também não variaram estatisticamente em profundidade (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 cm), sendo os menores valores destes nutrientes verificados na área com queima da palhada. Os valores encontrados pelo autor nas áreas com cana queimada foram superiores aos encontrados para as áreas de cana neste estudo.

Para as substâncias húmicas, também não foram verificadas diferenças significativas entre as coberturas (Tabelas 7, 8, 9 e 10). Entretanto, observa-se um predomínio da fração humina em PA, sendo exceção a camada mais superficial. Para os ácidos húmicos, constata-se valores ligeiramente mais elevados associados ao LA, nas profundidades de 0-5 cm e 20-40 cm. Já os solos PA apresentaram valores maiores de ácido húmico somente na profundidade de 10-20 cm (Tabela 9).

Fontana et al. (2001) encontraram diferenças significativas para humina, ácido húmico associados à LA, e ácido fúlvico, associado à PA para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm sob as mesmas coberturas vegetais estudadas neste trabalho. Mendonza et al. (2000) verificaram decréscimo da fração humina em profundidade (de 0-5 para 5-20 cm) sendo mais acentuado nas áreas com sistema de cana crua devido ao maior acúmulo de CO em superfície nesse sistema. Essa tendência foi constatada para humina, a qual chegou a apresentar valores iguais entre floresta e pasto, na profundidade de 20-40 cm.

**Tabela 7** - Teores de N, frações da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico, em solos de tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais, na profundidade de 0-5 cm.

Propriedades	Ordem de Solo	Floresta	Pasto	Cana
N	LA	0,25 a	0,21 ab	0,19 b
	PA	0,25 a	0,21 ab	0,19 b
HU	LA	0,37 a	0,35 a	0,29 a
	PA	0,37 a	0,35 a	0,29 a
AF	LA	0,12 a	0,12 a	0,12 a
	PA	0,12 a	0,12 a	0,12 a
AH	LA	0,09 a	0,09 a	0,10 a
	PA	0,08 a	0,08 a	0,08 a
CO	LA	9,0 a	8,3 a	8,3 a
	PA	9,0 a	8,5 a	8,3 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas para o mesmo parâmetro não diferem entre si ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. Legenda: N – Nitrogênio; HU – Humina; AF – Ácido Fúlvico; AH - Ácido Húmico; CO - Carbono Orgânico; LA – Latossolo e PA – Argissolo.

**Tabela 8** - Teores de N, frações da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico, em solos de tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais, na profundidade de 5-10 cm.

Propriedades	Ordem de Solo	Floresta	Pasto	Cana
N	LA	0,18 a	0,18 a	0,16 a
	PA	0,18 a	0,17 a	0,16 a
HU	LA	0,17 a	0,19 a	0,15 a
	PA	0,19 a	0,21 a	0,17 a
AF	LA	0,14 a	0,11 a	0,13 a
	PA	0,13 a	0,10 a	0,12 a
AH	LA	0,09 a	0,10 a	0,09 a
	PA	0,09 a	0,10 a	0,09 a
CO	LA	6,1 a	6,3 a	5,8 a
	PA	5,5 a	5,8 a	5,3 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas para o mesmo parâmetro não diferem entre si ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. Legenda: N – Nitrogênio; HU – Humina; AF – Ácido Fúlvico; AH - Ácido Húmico; CO - Carbono Orgânico; LA – Latossolo e PA – Argissolo.



**Tabela 9** - Teores de N, frações da matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup>) e carbono orgânico, em solos de tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais, na profundidade de 10-20 cm.

Propriedades	Ordem de Solo	Floresta	Pasto	Cana
N	LA	0,16 a	0,15 a	0,15 a
	PA	0,14 a	0,13 a	0,14 a
HU	LA	0,14 a	0,16 a	0,12 a
	PA	0,15 a	0,17 a	0,12 a
AF	LA	0,10 a	0,11 a	0,11 a
	PA	0,10 a	0,11 a	0,11 a
AH	LA	0,07 a	0,08 a	0,07 a
	PA	0,08 a	0,09 a	0,08 a
CO	LA	3,9 a	3,8 a	3,9 a
	PA	3,9 a	3,9 a	3,8 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas para o mesmo parâmetro não diferem entre si (P<0,05) pelo teste de Tukey. Legenda: N – Nitrogênio; HU – Humina; AF – Ácido Fúlvico; AH - Ácido Húmico; CO - Carbono Orgânico; LA – Latossolo e PA – Argissolo..

**Tabela 10** - Teores de N, frações da matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup>) e carbono orgânico, em solos de tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais, na profundidade de 20-40 cm.

Propriedades	Ordem de Solo	Floresta	Pasto	Cana
N	LA	0,15 a	0,15 a	0,17 a
	PA	0,14 a	0,14 a	0,16 a
HU	LA	0,11 a	0,11 a	0,09 a
	PA	0,12 a	0,12 a	0,10 a
AF	LA	0,10 a	0,08 a	0,12 a
	PA	0,11 a	0,09 a	0,12 a
AH	LA	0,07 a	0,09 a	0,07 a
	PA	0,06 a	0,08 a	0,06 a
CO	LA	3,7 a	3,9 a	3,3 a
	PA	3,7 a	3,7 a	3,2 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas para o mesmo parâmetro não diferem entre si (P<0,05) pelo teste de Tukey. Legenda: N – Nitrogênio; HU – Humina; AF – Ácido Fúlvico; AH - Ácido Húmico; CO - Carbono Orgânico; LA – Latossolo e PA – Argissolo.

A Tabela 11 apresenta a relação AH/AF. Esta relação indica a mobilidade do carbono no solo. Em geral, os solos mais arenosos apresentam maiores valores de AH/AF indicando a perda seletiva da fração mais solúvel de AF (BENITES et al., 2003). A relação AH/AF é uma relação inversa, ou seja, quanto menor for o seu valor maior será a perda de CO na forma de AF. Nas áreas com LA, os valores mais elevados de AH/AF ocorreram na camada superficial (0-5 cm), associados à cobertura cana e, na maior profundidade, associado à cobertura pasto. Para PA, as maiores perdas de AF, indicadas por essa relação, ocorreram nas profundidades intermediárias (5-10 e 10-20 cm), associadas à cobertura de pasto. Fontana et al. (2001) encontraram, para LA, maiores valores desta relação nas primeiras profundidades (0-20 cm) e para PA, na maior profundidade (20-40 cm).

**Tabela 11** - Relação entre os teores de carbono na forma de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos AH/AF em diferentes profundidades sob solos de tabuleiros.

Profundidade (cm)	Ordens de Solo	Cobertura Vegetal		
		Pasto	Cana	Floresta
0-5	LA	0,75	0,83	0,75
	PA	0,67	0,67	0,67
5-10	LA	0,91	0,69	0,64
	PA	1,00	0,75	0,69
10-20	LA	0,73	0,64	0,70
	PA	0,82	0,73	0,80
20-40	LA	1,13	0,58	0,70
	PA	0,89	0,50	0,55

Na Tabela 12 é apresentada a relação entre o extrato alcalino (ácido fúlvico + ácido húmico) e a fração humina. Essa relação EA/HU é um índice que indica iluviação de matéria orgânica. Nos horizontes espódicos são encontrados as maiores relações EA/HU enquanto que em horizontes superficiais este índice é em geral menor que um (BENITES et al., 2003). Da mesma forma que a relação AH/AF, quanto menor o valor de EA/HU maior será a perda de MO na forma de extrato alcalino (AF+AH). O comportamento sugerido por Benites et al. (2003) foi percebido nos horizontes superficiais, com os menores valores ( $EA/HU < 1$ ) na profundidade de 0-5 cm e o aumento dos valores de EA/HU em profundidade.

De uma forma geral, a ordem dos LA apresentou uma maior tendência de iluviação de MO na forma de EA do que os PA (Tabela 12). Dentre as coberturas, as áreas de cana apresentaram os maiores valores de EA/HU em todas as profundidades e ordens de solo. Este comportamento pode ser decorrente do manejo adotado nas áreas de cana, com a queima prévia do canavial para a colheita.

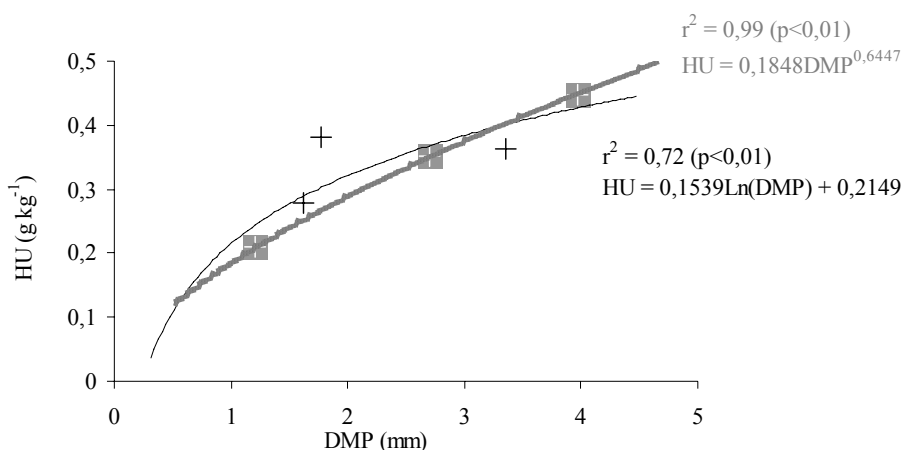
**Tabela 12** - Relação entre o extrato alcalino (ácidos fúlvicos mais ácidos húmicos) e a humina EA/HU em diferentes profundidades do solo.

Profundidade (cm)	Solo	Cobertura Vegetal		
		Pasto	Cana	Floresta
0-5	LA	0,60	0,76	0,57
	PA	0,57	0,69	0,54
5-10	LA	1,11	1,47	1,35
	PA	0,95	1,24	1,16
10-20	LA	1,19	1,50	1,21
	PA	1,18	1,58	1,20
20-40	LA	1,55	2,11	1,55
	PA	1,55	1,80	1,42

Através dos resultados encontrados, é possível concluir que na ordem dos PA está ocorrendo maior mobilidade de carbono na forma da fração solúvel de AF e, na ordem dos LA, está ocorrendo maior iluviação de MO na forma de extrato alcalino (EA). No entanto, observando-se a diferença numérica dos valores dos indicadores

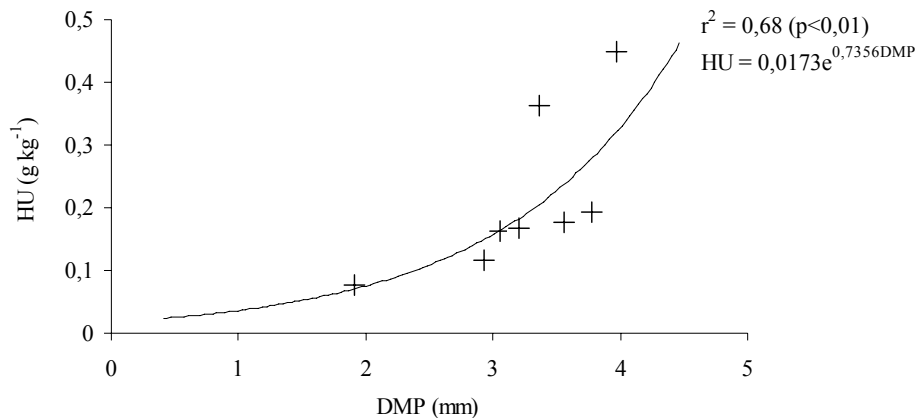
(AH/AF e EA/HU) entre as ordens de solo, percebe-se que há uma menor diferença entre as ordens de solo relacionadas à EA/HU, exceto na profundidade de 5-10 cm. Isso indica que as ordens de solos podem ter comportamento mais similar na iluviação do EA do que na mobilidade de AF.

Foram realizadas análises de correlação entre os valores de DMP e os teores das frações húmicas da MO do solo. Os melhores valores de correlação foram relacionados à fração húmica e ácido húmico. Na profundidade 0 a 5 cm (Figura 26), os resultados de correlação observados para húmica foram altamente significativos ( $r^2=0,72$ ,  $p<0,01$ ), cujos seus valores apresentaram um comportamento logarítmico ( $HU = 0,1539\text{Ln}(\text{DMP}) + 0,2149$ ) para a correlação DMP e HU, independente da ordem de solo. No entanto, quando estes resultados foram analisados isolando-se o solo para a profundidade de 0 a 5 cm, encontrou-se maiores valores de correlação para a ordem dos PA. Esses resultados são corroborados com aqueles encontrados no cálculo do índice EA/HU (Tabela 12), onde o menor valor da relação EA/HU se encontra na profundidade de 0-5 cm em PA sob floresta. Estes valores de EA/HU indicam que estão ocorrendo menores perdas de MO do solo na forma da fração húmica e maiores perdas das frações ácido húmico e fúlvico (EA). Dessa maneira, pode-se afirmar que nas camadas superficiais dos solos estudados em ambiente de cobertura natural, a fração húmica revelou-se melhor agente agregador para ordem dos PA do que para os LA.



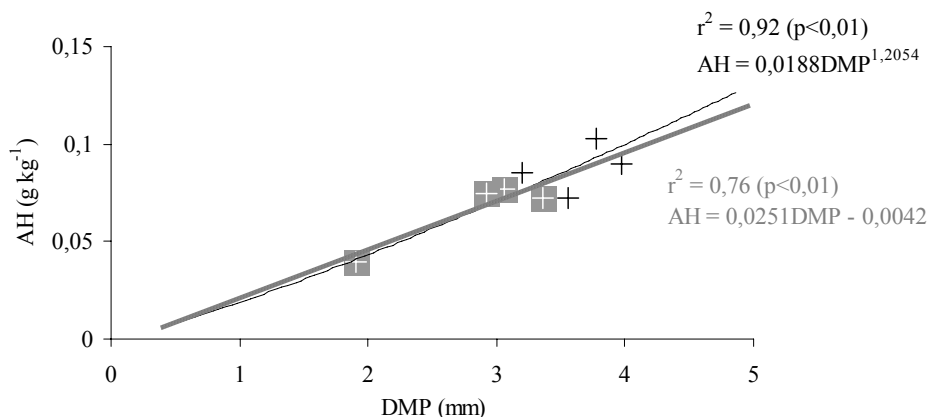
**Figura 26** - Correlação entre o índice diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo na profundidade de 0-5 cm e a fração húmica (HU) em LA e PA ( $r^2=0,72$ ) e somente em PA ( $r^2=0,99$ ), independente do tipo de cobertura vegetal.

Também foi possível identificar, através dos resultados das análises de correlação entre DMP e as frações da MO, que a fração húmica demonstrou estar correlacionando-se significativamente ( $p<0,05$ ) com a agregação no solo sob a cobertura de floresta, independente da profundidade e ordem de solo (Figura 27). Os valores estudados para húmica e DMP se relacionaram de forma exponencial ( $r^2 = 0,68$ ;  $HU = 0,0173e^{0,7356\text{DMP}}$ ) para a agregação do solo.



**Figura 27** - Correlação entre o índice diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo e a fração húmica (HU) sob cobertura floresta, independente da ordem e profundidade do solo.

No entanto, a fração AH parece também estar contribuindo na agregação das partículas do solo sob floresta. Observa-se na Figura 28 que o ácido húmico apresentou correlação linear ( $HU = 0,0251DMP - 0,0042$ ) altamente significativa ( $p < 0,01$ ,  $r^2 = 0,76$ ) com os valores de DMP, independente de profundidade e ordem de solo. Porém, quando os valores de correlação foram separados por ordem de solo, observou-se que a correspondência dos valores para LA e se deu de forma potencial ( $HU = 0,0188DMP^{1,2054}$ ), aumentando a significância da correlação ( $p < 0,01$ ,  $r^2 = 0,92$ ), demonstrando que, nessa ordem de solo sob cobertura de floresta, o AH esteve mais atuante na agregação do que fração a húmica.



**Figura 28** - Correlação entre o índice diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo e a fração ácido húmico (AH) em LA e PA ( $r^2 = 0,76$ ) e somente em LA ( $r^2 = 0,92$ ) sob floresta, independente da profundidade do solo.

#### 4.2.4 Purificação das substâncias húmicas

A purificação das substâncias húmicas tem sido buscada através de diversos métodos para eliminar, ou então diminuir, a fração mineral que é extraída junto com as frações húmicas. A Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SSHI) tem usado a associação do ácido clorídrico (HCl) com o ácido fluorídrico (HF) para estabelecer o padrão referente às substâncias húmicas do solo (SÁNCHEZ-MONEDERO et al., 2002). O método de purificação com uso de HF+HCl consiste na quebra de ligação Si-O entre a MO e argilas, solubilizando os minerais de argila (STEVENSON, 1982).

Os sinais característicos referentes às impurezas minerais foram observados em todos os espectros de ácidos húmicos não purificados. Os espectros no infravermelho,

obtidos com os ácidos húmicos de forma geral, demonstraram comportamento bastante similares, apresentando sinais característicos aos espectros de ácidos húmicos em determinadas regiões, ocorrendo poucas variações nas frequências de transmitância (Tabela 13).

**Tabela 13** – Possíveis atribuições das bandas de absorção nos espectros de infravermelho observadas nas amostras de ácidos húmicos do solo.

Frequência	Descrição	Referência
3697	Estiramento axial de O-H em caulinita	Russel (1987)
3620	Estiramento axial de O-H de ligações intramoleculares em caulinita e gibbsita	Russel (1987)
3440-3380	Deformação axial O-H em grupo fenólico (contribuição de OH alifático, H <sub>2</sub> O e amina).	Stevenson (1982)
2940-2840	Estiramento axial de C-H em grupos -CH <sub>3</sub> alifáticos	Stevenson (1994)
1725-1720	Estiramento axial C=O de COOH e cetona (traços).	Stevenson (1994)
1720-1712	Deformação axial de C=O em grupos carboxílicos.	Baes & Bloom (1989)
1660-1620	Deformação axial de ânion carboxilato em ligação covalente com metal: contribuição de amido, cetona ou quinona.	Stevenson (1982)
1452	Deformação angular assimétrica C-H em metil e metileno.	Ricca et al. (1993)
1420-1400	Deformação axial simétrica do ânion carboxilato.	Ricca et al. (1993)
1380	Deformação angular simétrica de C-H em metil e metileno	Ricca et al. (1993)
1262-1234	Deformação axial de C-OH em grupos carboxílicos ou fenólicos.	Baes & Bloom (1989)
1170-1100	Estiramento axial de C-O de estruturas tipo polissacarídeos.	Stevenson (1994)
1080-1050	Deformação axial de C-O em polissacarídeos.	Stevenson (1982)
1030	Deformação axial de Si-O em caulinita ou deformação angular de O-H em gibbsita.	Russel (1987)
1010	Deformação angular de O-H em caulinita e gibbsita.	Russel (1987)
910	Deformação angular de O-H em caulinita.	Russel (1987)
820-750	Deformação angular fora do plano de ligações C-H de anéis aromáticos.	Baes & Bloom (1989)
470	Deformação de Si-O em caulinita.	Russel (1987)

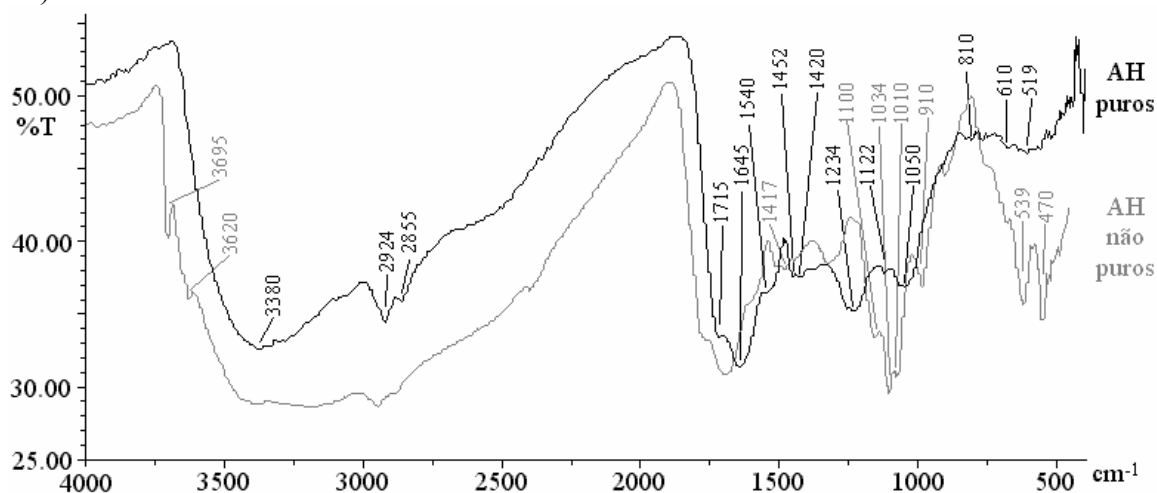
Os espectros de ácido húmico observados na Figura 29 são de Argissolo Amarelo na profundidade de 0-5 cm sob cobertura de floresta secundária. Esses espectros foram selecionados como exemplo, por serem aqueles que apresentaram maior representatividade na comparação entre as amostras de ácidos húmicos purificados e não purificados.

Na purificação dos ácidos húmicos usou-se uma mistura de ácido fluorídrico e ácido clorídrico (HF+HCl) a 0,5%. O efeito na purificação foi significativo, causando redução na intensidade dos sinais de origem mineral (argilas e sais) e aumento de sinais relativos a grupos orgânicos (Figura 29). O HCl é capaz de romper ligações organometálicas liberando os grupos carboxílicos, permitindo sua determinação (PICCOLO, 1988).

As diferenças entre os espectros antes e depois da purificação demonstraram aumento dos valores de transmitância em três faixas distintas. A primeira e mais longa faixa vai de 4.000 cm<sup>-1</sup> até 1.600 m<sup>-1</sup>, a segunda faixa, vai de 1.180 cm<sup>-1</sup> até 900 cm<sup>-1</sup> e, a terceira e última faixa vai de 800 m<sup>-1</sup> até 400 m<sup>-1</sup>. Dentro da maior faixa podem-se destacar os sinais em 3.695 e 3.620 cm<sup>-1</sup>, considerados sinais diagnósticos de deformação

axial de O-H em caulinita e, caulinita e gibbsita, respectivamente. Na segunda faixa, os sinais 1.034, 1.010 e 910  $\text{cm}^{-1}$  são considerados uma representação de um padrão típico da presença da caulinita e/ou gibbsita (RUSSEL, 1987). Na última faixa, aparecem dois sinais, o 470  $\text{cm}^{-1}$  sinal característico de Si-O em caulinita, e o sinal 539  $\text{cm}^{-1}$ , apesar de não ter sido encontrado seu significado nas referências, ao que tudo indica, representa uma interferência proveniente de minerais, pois não aparecem no espectro purificado.

Após a desmineralização das amostras de ácidos húmicos extraídos de Argissolos Amarelos, os sinais 2.924, 2.855 e 1.452  $\text{cm}^{-1}$  relativos à deformação angular de ligações C-H alifáticas, tornaram-se mais evidentes. Esse efeito também foi percebido em outros pontos como: em 1.540  $\text{cm}^{-1}$  relacionado à presença de amido e/ou peptídeos ficaram mais evidentes sob floresta; em 1.452  $\text{cm}^{-1}$ , relativo à deformação angular de ligações assimétrica C-H em metil e metileno; em 1.420  $\text{cm}^{-1}$ , resultado da deformação axial simétrica do ânion carboxilato; em 1.234  $\text{cm}^{-1}$  pela deformação axial de C-OH em grupos carboxílicos ou fenólicos; em 1.122 e 1.050  $\text{cm}^{-1}$  devido à deformação de C-O em polissacarídeos e; finalmente, em 810  $\text{cm}^{-1}$  ocasionado pela deformação angular fora do plano de ligações C-H de anéis aromáticos. Esses dados demonstram a eficiência do tratamento de purificação com HF+HCl na desmineralização de ácidos húmicos (Figura 29).



**Figura 29** – Espectros de absorvância no infravermelho dos ácidos húmicos purificados e não purificados com HF+HCl 0,5% extraídos na profundidade de 0-5 cm de um Argissolo Amarelo sob cobertura de floresta secundária.

Os resultados demonstrados na purificação dos ácidos húmicos são corroborados pela redução dos teores de cinzas que diminuíram de 40 para 19 % no tratamento de termometria realizado nas amostras de ácidos húmicos representadas nos espectros da Figura 29 e, de 41 para 20 % na média geral dos AH purificados (Tabela 14). Esse efeito de purificação em amostras de ácido húmicos tratados com HF+HCl 0,5 % foi observado por Piccolo (1988), usando NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> como extrator, o autor obteve redução de 50 para 1% no teor de cinzas das amostras e redução significativa do pico em 1.050  $\text{cm}^{-1}$  atribuído a ligações Si-O em minerais silicatados. Benites et al. (1999) também observou efeito de purificação com uso de HF+HCl 0,5 % utilizando o mesmo extrator (NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>), obtendo redução nos teores de cinzas de 54 para 3% nos AH extraídos do horizontes A de Latossolo Vermelho-Amarelo coberto por mata atlântica e de 32 para 1,7 % nos AH extraídos do horizonte A+E de um Podzol coberto por campo de altitude no Estado de Minas Gerais.

**Tabela 14** – Teores de cinzas encontrados nas amostras de ácidos húmicos não purificados e purificados dos Latossolos e Argissolos Amarelos sob diferentes coberturas vegetais.

Cobertura Vegetal	Solo	AH não purificado (%)	AH purificado (%)
Pasto	LA	43	23
	PA	33	10
Cana	LA	53	22
	PA	48	25
Floresta	LA	29	18
	PA	40	19

As cinzas das amostras não purificadas de ácidos húmicos apresentaram uma coloração vermelha escura (tendendo para cor vinho) e, as amostras purificadas, apresentaram uma coloração avermelhada de tonalidade mais clara (tendendo para cor coral) para ambas as ordens de solos, revelando a presença de ferro como impurezas provenientes provavelmente de minerais de baixa cristalinidade (RUSSEL, 1987) como a goethita associada à coloração amarela dos solos (VOLKOFF, 1978). Esses minerais estão presentes em uma banda larga de 700 a 400  $\text{cm}^{-1}$  (RUSSEL, 1987) que estão encobertas, na Figura 29, pelos sinais característicos da caulinita em 539 e 470  $\text{cm}^{-1}$ .

A partir desses dados é possível concluir que o processo de purificação das substâncias húmicas foi eficiente como método de desmineralização de ácidos húmicos do solo, e necessário para reduzir os teores de cinzas e sais possibilitando a identificação de sinais alifáticos no espectro de infravermelho, encobertos pelo sinal das impurezas. A não eliminação de cinzas pode dificultar ou até pode impedir a interpretação dos espectros.

#### 4.2.5 Análises espectroscópicas e análise elementar (CHN)

Segundo a classificação de Stevenson & Goh (1971) para espectros de infravermelho de substâncias húmicas, os espectros dos ácidos húmicos das duas ordens de solos enquadraram-se como tipo III, definido por bandas evidenciadas próximas a 3.400, 2.900, 1.720, 1.600 e 1.200  $\text{cm}^{-1}$ . Além da presença de sinais próximos de 1.540 e 1.050  $\text{cm}^{-1}$  relativos a carboidratos e, outro sinal, pronunciado próximo a 2.900  $\text{cm}^{-1}$  relativo a ligação C-H alifático.

De forma geral, os espectros de infravermelho das amostras de ácido húmico purificadas apresentaram-se muito semelhantes, tanto entre coberturas vegetais quanto entre ordens de solos. No entanto, os intervalos de absorção (transmitância) foram menores nos espectros de infravermelho relacionados à ordem dos PA sob cobertura pasto e cana, 20 % e 25 %, respectivamente, em relação à cobertura floresta sobre essa ordem de solo e, para as três coberturas relacionadas à ordem LA que apresentaram 30 % na variação de transmitância. Em média, os espectros de infravermelho dos PA apresentaram grau de absorção na faixa de 10 % maiores que os espectros dos LA (Figuras 30 e 31).

A análise dos espectros de infravermelhos dos ácidos húmicos purificados, extraídos de Latossolo e Argissolo Amarelos apresentados nas Figuras 30 e 31, foram divididos em cinco faixas de absorção com objetivo de facilitar sua interpretação.

#### Faixa de absorção de 3.700 a 3.100 $\text{cm}^{-1}$

Dentro dessa faixa de absorção, que corresponde aos sinais de estiramento axial dos grupamentos O-H em grupos fenólicos, não foi percebido nenhuma diferença expressiva entre coberturas ou entre ordens de solos. Contudo, a faixa de absorção O-H

no espectro da cobertura pasto em PA, se apresenta menos alargada e com maior nível de energia, definido pelo sinal  $3.420\text{ cm}^{-1}$ , característico de ligações livres. O espectro dessa cobertura em LA apresentou uma faixa de absorção mais alargada e com nível de energia menor ( $3.350\text{-}3.384\text{ cm}^{-1}$ ). Segundo Silverstein et al. (1987) a frequência do estiramento axial assimétrico da ligação O-H, como nas demais ligações, depende não somente da natureza característica da ligação química, mas também sofre efeito da molécula inteira e sua relação com o ambiente químico. As interações dos grupamentos através de pontes de hidrogênio inter e intramoleculares promovem uma redução do movimento O-H, menor energia de absorção e alargamento da faixa de absorção detectada nos espectros. A formação de pontes de hidrogênio intra e intermoleculares, nessa região, podem caracterizar maior complexidade estrutural e, possivelmente, um maior grau de humificação dessa fração.

#### **Faixa de absorção de $3.100\text{ a }2.500\text{ cm}^{-1}$**

Essa faixa de absorção corresponde aos estiramentos axiais assimétricos C-H em grupos  $-\text{CH}_2$   $-\text{CH}_3$  alifáticos. A variação das frações de ácido húmico, nessa faixa de absorção, foram pouco diferenciadas. No entanto, o processo de purificação das amostras realçou os sinais relativos aos grupos carboxílicos presentes nessa região do espectro, identificados pelos sinais em  $2.925$ ,  $2.922$ ,  $2.869$  e  $2.861\text{ cm}^{-1}$  no LA e,  $2.924$ ,  $2.861$  e  $2.856\text{ cm}^{-1}$  nos PA, evidenciando o rompimento de ligações entre estes grupos e os minerais. Piccolo et al. (1988), constatou que HF é capaz de romper ligações organometálicas formando complexos solúveis de minerais liberando os grupos carboxílicos, possibilitando sua identificação nos espectros. Entre as coberturas vegetais houve diferenças quanto ao grau de absorção. Os maiores níveis de absorção, correspondentes aos menores valores de T%, são observados na cobertura floresta sobre PA (30 %) e os menores sobre LA (58 %) para a mesma cobertura. Essa redução pode ser referente a ligações C-H de compostos alifáticos relacionados, por Stevenson (1982), a compostos mais orgânicos, menos humificados como carboidratos. Esses dados, provavelmente, estão se correspondendo aos níveis de COS apresentados na Figura 22, onde PA apresenta os maiores níveis de COS e LA os menores teores de C no solo sob cobertura floresta.

#### **Faixa de absorção de $2.500\text{ a }1.300\text{ cm}^{-1}$**

Correspondem a deformações de grupos aromáticos, carboxílicos, quinonas ou cetonas conjugadas, e a deformações angulares de ligações C-H em metil e metileno. O sinal em  $1.540\text{ cm}^{-1}$  relativo a carboidratos aparece com mais evidência nas áreas de floresta, indicando menor decomposição e menor grau de humificação deste. Nos ácidos húmicos das coberturas pasto e cana sobre Argissolo, os sinais na região de  $1.600\text{ cm}^{-1}$  aparecem mais proeminentes do que em LA, indicando um maior grau de absorção e, conseqüentemente, maior humificação dos ácidos húmicos naquele solo, provavelmente conseqüência das transformações ocorridas na MO relacionado aos processos de humificação nos distintos sistemas de manejo do solo. A faixa do espectro entre  $1.700$  e  $1.600\text{ cm}^{-1}$  são utilizadas para caracterizar compostos orgânicos (STEVENSON & GOH, 1971).

#### **Faixa de absorção de $1.300\text{ a }1.000\text{ cm}^{-1}$**

Correspondem aos estiramentos C-O e O-H de polissacarídeos e C-OH de grupos carboxílicos e fenólicos. Essa faixa do espectro é considerada a que possui as melhores características dos compostos orgânicos, podendo ser utilizada para comparações de processos de humificação da MO do solo. Os sinais percebidos nessa faixa são atribuídos à presença de polissacarídeos na MO do solo (STEVENSON & GOH, 1971). Observam-

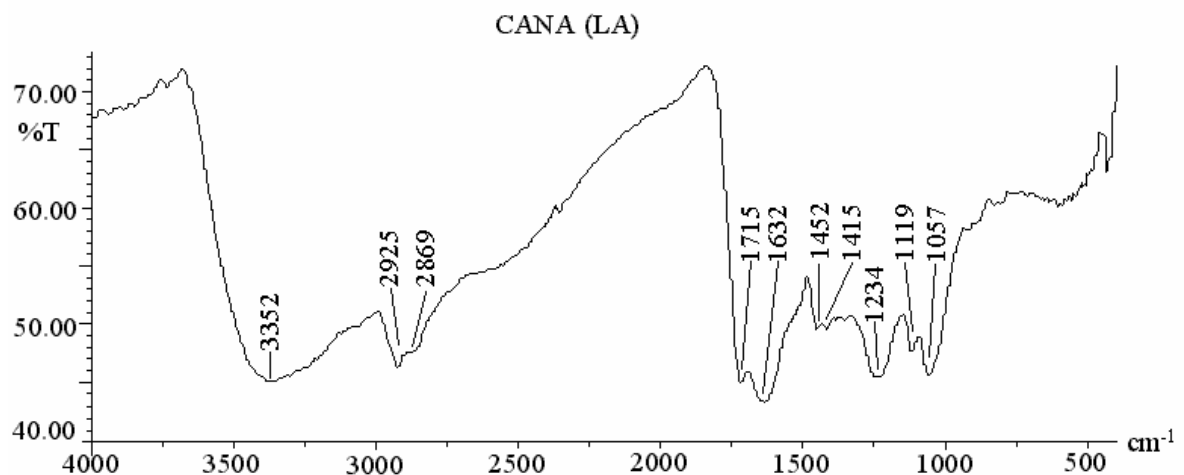
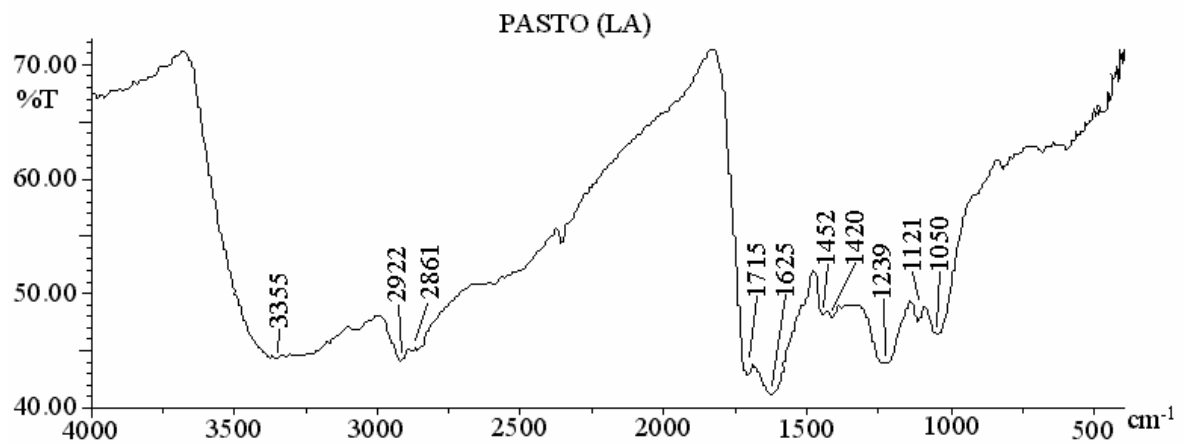


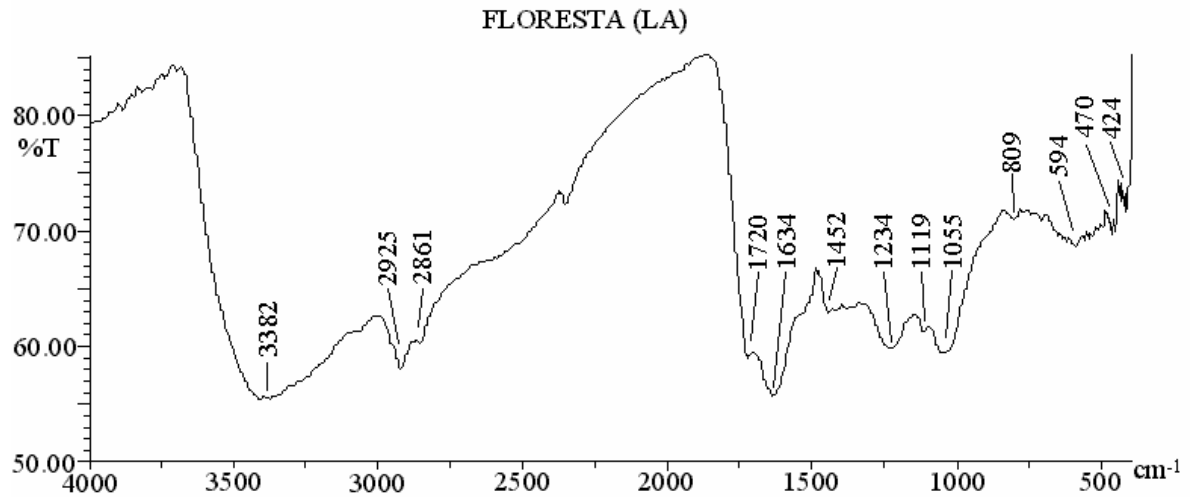
se pequenas diferenças de intensidade de absorção nos espectros de ácido húmico próximo a 1.230, 1.120 e 1.050  $\text{cm}^{-1}$ . Esses sinais foram mais intensos nas áreas de pasto e cana, indicando maior absorção e, conseqüentemente maior alteração dessas frações, com perda de polissacarídeos, possivelmente devido a um maior grau de humificação proporcionado pelo sistema pasto e cana.

### Faixa de absorção de 1.000 a 650 $\text{cm}^{-1}$

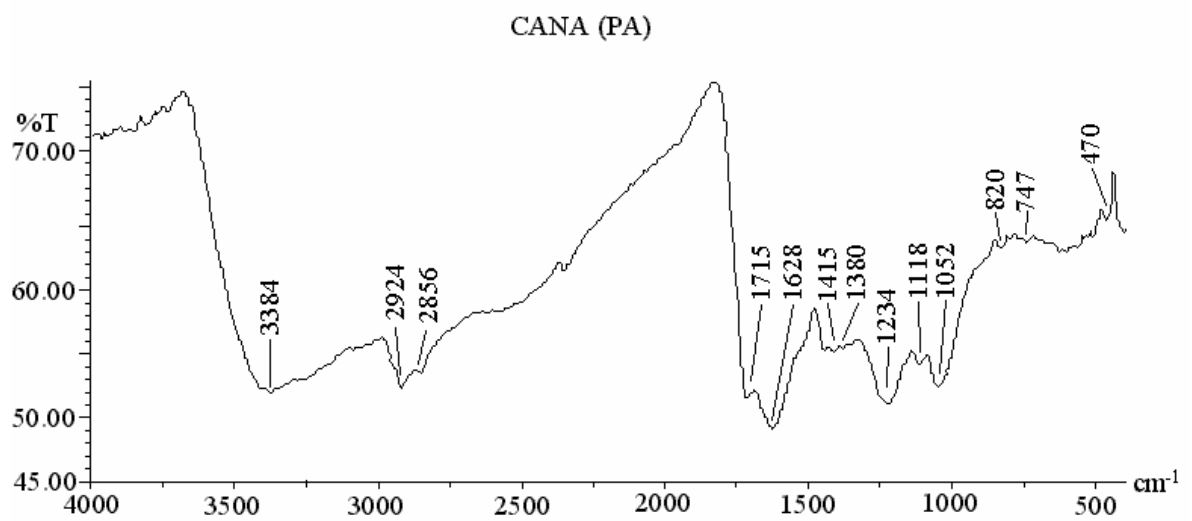
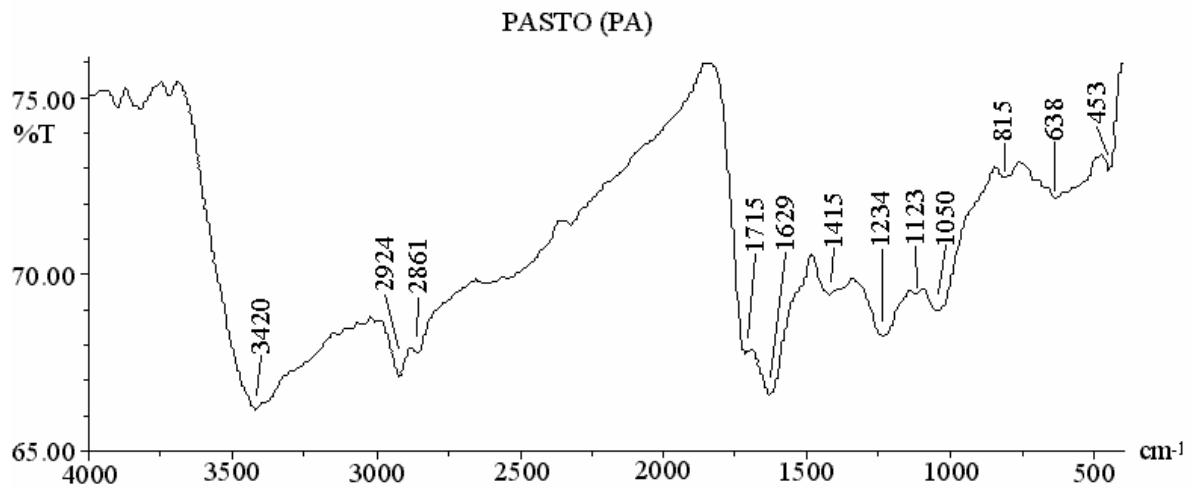
Corresponde a deformação angular de ligações C-H de anéis aromáticos. Através dos sinais dessa região do espectro pode-se observar pequenas diferenças entre tipos de coberturas vegetais e sistemas de manejo usados nas áreas. Somente entre as ordens de solos sob cobertura pasto apresentaram diferenças mais significativas, revelando sinais de ligações de C-H de anéis aromáticos.

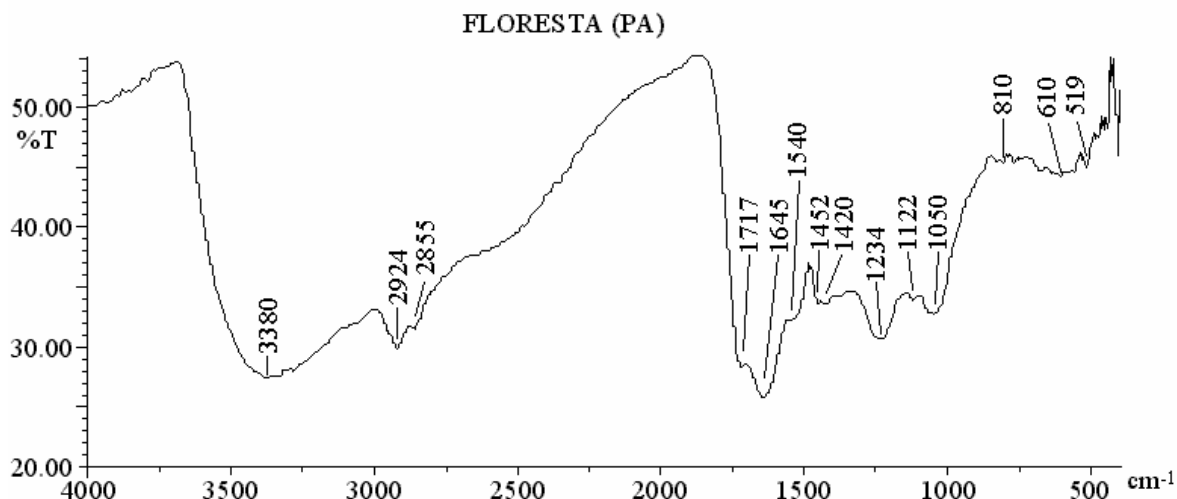
A partir dos dados encontrados na análise de infravermelho conclui-se que não foi possível perceber diferenças significativas entre ordens de solos nem entre as coberturas cana e pasto, isso se deve, provavelmente, ao efeito da textura extremamente arenosa dos solos estudados.





**Figura 30** – Espectros de transmitância (%T) no infravermelho dos ácidos húmicos purificados com HF+HCl 0,5% extraídos na profundidade de 0-5 cm de um Latossolo Amarelo sob diferentes cobertura vegetais.





**Figura 31** – Espectros de transmitância (%T) no infravermelho dos ácidos húmicos purificados com HF+HCl 0,5% extraídos na profundidade de 0-5 cm de um Argissolo Amarelo sob diferentes cobertura vegetais.

Foi realizada a análise semi-quantitativa observando-se a relação existente entre algumas bandas de absorção características nos espectros de infravermelhos. Foram selecionados as bandas de absorção correspondentes a grupos alifáticos ( $2.929\text{ cm}^{-1}$ ), grupamentos conjugados ( $1.419\text{ cm}^{-1}$ ) e polissacarídeos ( $1.050\text{ cm}^{-1}$ ).

O índice de hidrofobicidade (IH) mede a relação existente entre as bandas de absorção de grupamentos alifáticos e polissacarídeos. Assim quanto maior o IH de uma molécula orgânica, maior deverá ser sua recalcitrância ou resistência à degradação. Por sua vez, o índice de condensação (IC) mede a relação entre os sinais de absorvância dos grupamentos conjugados e alifáticos. Quanto maior o IC de uma fração orgânica maior deverá ser sua condensação ou grau de humificação.

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados dos índices de condensação e hidrofobicidade das amostras de ácidos húmicos do solo na profundidade de 0-5 cm em LA e PA sob diferentes coberturas vegetais.

De forma geral os valores de IH e IC apresentaram pequena variação entre as ordens de solo e coberturas vegetais. No entanto, observam-se os maiores valores de IH relacionados à ordem dos PA para todas as coberturas vegetais e de IC somente na cobertura floresta. Isso sugere que PA pode estar contribuindo para o maior grau de resistência das estruturas orgânicas fazendo com que permaneçam por mais tempo no solo independente do tipo de cobertura vegetal. O LA somente apresentou valores maiores que PA na cobertura pasto relacionado ao índice de condensação dos grupamentos orgânicos.

Dentre as coberturas, a área de cana apresentou os menores valores de IH e, maiores valores de IC quando comparados a pasto. Isso indica que essa cobertura apresenta sinais de grupamentos mais suscetíveis à degradação que a cobertura pasto e, o maior grau de humificação, representados pelos valores de IC, podem estar sugerindo a participação do fogo no processo de gênese e transformação das substâncias húmicas neste ambiente. As coberturas floresta e pasto apresentaram estruturas orgânicas com graus semelhantes de hidrofobicidade, somente se distanciando quanto ao grau de condensação na ordem de solo PA, onde a cobertura de floresta apresentou aos maiores valores de IC.

**Tabela 15** – Índices de hidrofobicidade (IH) e índice de condensação (IC) para as frações de ácidos húmicos da camada de 0-5 cm em diferentes ordens de solos e coberturas vegetais.

Cobertura Vegetal	Solo	IH	IC
Pasto	LA	1,06	1,05
	PA	1,07	1,01
Cana	LA	0,98	1,08
	PA	0,99	1,07
Floresta	LA	1,04	1,05
	PA	1,07	1,12

As amostras de ácidos húmicos purificados extraídos de LA e PA apresentaram teores de carbono inferiores e teores de hidrogênio e oxigênio superiores ao encontrado na literatura (CHEFETZ et al., 2002; SÁNCHEZ-MONEDERO et al., 2002; LI et al., 2003) e ao ácido húmico padrão fornecido pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Tabela 16).

A relação atômica H:C é uma medida do grau de aromaticidade de substâncias húmicas (STEELINK, 1985). Os valores observados foram superiores aos encontrados na literatura (DICK et al., 2002) demonstrando o caráter menos aromático dessas amostras.

Os valores de nitrogênio foram bastante variáveis, mas observou-se o baixo teor deste elemento nas amostras com teores de carbono mais elevados na área de cana. As áreas de pastagens apresentaram menores teores de carbono e maiores teores de hidrogênio, resultando em maiores razões atômicas H:C, indicando o caráter menos aromático dos ácidos húmicos dos solos sobre essa cobertura.

Segundo Chen et al. (1977) a razão  $E_4:E_6$  se relaciona ao tamanho das moléculas e ao seu peso molecular. No entanto, quando se comparam os valores de  $E_4:E_6$  com os de IC, Tabelas 16 e 15, respectivamente, observa-se uma semelhança entre estes índices, havendo uma maior relação com o proposto por Kononova (1966), relacionando  $E_4:E_6$  a aromaticidade e ao grau de condensação dos ácidos húmicos, sendo usado como índice de humificação.

**Tabela 16** - Análise elementar e razões atômicas de ácidos húmicos extraídos de Latossolos e Argissolos Amarelos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais.

Cobertura	Solo	$E_4/E_6$	C H O N				C:N H:C O:C		
			-----% base seca sem cinzas-----				-----Razão atômica -----		
Pasto	LA	4,96	48,6	5,45	42,6	3,34	16,99	1,35	0,66
	PA	4,53	50,3	5,50	40,5	3,73	15,70	1,32	0,60
Cana	LA	5,30	45,5	5,37	45,7	3,40	15,62	1,42	0,75
	PA	4,72	42,0	4,68	49,4	3,92	12,51	1,34	0,88
Floresta	LA	6,63	42,9	5,95	46,7	4,46	11,22	1,67	0,82
	PA	7,01	44,0	6,36	45,0	4,71	10,89	1,74	0,77
IHSS <sup>1</sup>			56,37	3,82	37,34	3,69	17,82	0,81	0,50

1- IHSS - resultados da amostra padrão fornecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas.

## 5. CONCLUSÕES

Os valores elevados de densidade do solo nas camadas superficiais se apresentam como um indicador (índice) de alteração antrópica dos solos, podendo ser adotado para estimar o efeito dos sistemas de produção agrícola nas propriedades do solo.

Os índices de DMP e DMG quando associados aos valores de carbono orgânico nas diferentes áreas das coberturas vegetais, revelaram o efeito negativo do manejo nas áreas com cultivo.

O Índice de sensibilidade identificou a ordem Argissolo como a de menor grau de degradação em relação à dos Latossolos. E, entre as coberturas, a área de pasto foi a apresentou maior proximidade da floresta.

Os níveis encontrados de carbono orgânico e o valor T nos horizontes superficiais, indicam que a manutenção dos níveis de fertilidade nos solos dos tabuleiros depende do enriquecimento e manutenção da matéria orgânica nesses solos.

O fracionamento da matéria orgânica não diferenciou as coberturas vegetais quanto a humificação da matéria orgânica. No entanto, as relações AH/AF e EA/HU revelaram diferenças entre as ordens de solo quanto a iluviação da matéria orgânica humificada.

O uso de HF+HCL no processo de purificação das substâncias húmicas foi eficiente como método de desmineralização de ácidos húmicos do solo, e necessário para reduzir os teores de cinzas e sais possibilitando a identificação de sinais alifáticos no espectro de infravermelho, encobertos pelo sinal das impurezas.

A análise de infravermelho foi útil para identificar determinados sinais de grupamentos característicos dos ácidos húmicos. No entanto, através da análise de espectrometria de infravermelho não foi possível perceber diferenças significativas entre as ordens de solos nem entre as coberturas cana e pasto, isso se deve, provavelmente, ao efeito da textura extremamente arenosa dos solos estudados.

Os valores dos índices de hidrofobicidade e condensação, apesar de apresentarem pequena variação entre as ordens de solo e coberturas vegetais, indicaram que a ordem Argissolo sob as coberturas vegetais estudadas apresentam características que estão contribuindo para o maior grau de resistência das estruturas orgânicas fazendo com que permaneçam por mais tempo no solo. Dentre as coberturas, a de cana-de-açúcar apresentou sinais de grupamentos mais suscetíveis à degradação que a cobertura pasto e, o maior grau de humificação (IC) que pode estar sugerindo a participação do fogo no processo de gênese e transformação das substâncias húmicas neste ambiente. As coberturas floresta e pasto apresentaram estruturas orgânicas com graus semelhantes de hidrofobicidade e maior resistência à degradação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. L., SANTOS, G. de A., DE-POLLI, H., CUNHA, L. H., FREIRE, L. R., AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do PEREIRA, N. M. C., EIRA, P. A. da, BLOISE, R. M.; SALEK, R. C. **Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro** / Helvécio De-Polli, coordenador; colaboração Dejair Lopes de Almeida ... [et al.]. – Itaguaí: Ed. Universidade Rural, 1988. 179p. (Coleção Universidade Rural, Ciência Agrária; n. 2).
- ANJOS, L. H. C dos; PEREIRA, M. G.; ANDRADE, G. A.; CEDDIA, M. B.- Caracterização dos estágios de degradação dos solos dos tabuleiros costeiros na região Norte Fluminense – RJ. Seropédica, RJ, 1995. (proposta de trabalho enviado à EMBRAPA/CPATC para trabalho em conjunto).
- AZEVEDO, A. C., BUNUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. Partículas coloidais, dispersão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 609-617, mar./abr. 2004.
- AZEVEDO, H. J. de, SOUZA, D. de, RABELO, P. R. **Boletim climático do Campus Dr. Leonel Miranda – Dados mensais (1975-1999)**. Campos dos Goytacazes: UFRRJ. Camus Dr. Leonel Miranda, 2000. 38p. (Boletim Técnico, n. 6).
- BAES, A. U., BLOOM, P. R. Diffuse reflectance and transmission Fourier transform infrared (DRIFT) spectroscopy of humic and fuvic acids. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 53, p. 695-700, 1989.
- BARRETO, A. C. FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para uso da adubação verde em solos de Tabuleiros Costeiros, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, 24p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 19).
- BAYER C., SPAGNOLLO, E., WILDNER, L. P., ERNANI, P. R., ALBUQUERQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 469-475, mai./jun. 2003.
- BAYER, C., MIELNICZUCK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997.
- BELOTTI, E. Assessment of a soil quality criterion by means of a Field survey. **Applied Soil Ecology**, v. 10, p. 51-63, 1998.
- 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. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16).
- BENITES, V. M., MENDONÇA, E. S., SCHAFFER, C. E. R., MARTIN-NETO, L. Caracterização dos ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Vermelho-Amarelo e de um Podzol por análise termodiferencial e pela espectroscopia de absorção no infravermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 543-551, 1999.

BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; GREGORICH, E. G., CARTER, M. R. The reponse of soil quality indicators to conservation management. **Can. J. Soil Sci**, v. 79, p. 37-45, 1999.

BRONICK, C. J., LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3 –22, 2005.

CALEGARI, A., MEDEIROS, G. B. de. Utilização de práticas biológicas na recuperação de camadas superficiais adensadas/compensadas. IN: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracajú, 2001 **Anais...**, Aracajú. EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. 2001. p. 243-259.

CERETTA, C. A.; BAYER, C.; DICK, D. P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A. Métodos Espectroscópicos. IN: FUNDAMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: ECOSISTEMAS TROPICAIS E SUBTROPICAIS./ Gabriel de Araújo Santos, Flávio A. de O. Camargo, editores – Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 293-335.

CHEFETZ, B. TARCHITZKY, J., DESHMUKH, A. P., HATCHER, P. G., CHEN, Y. Structural Characterization of Soil Organic Matter and Humic Acids in Particle-Size Fractions of an Agricultural Soil Published in Soil. **Sci. Soc. Am. J**, v. 66, p. 129–141, 2002.

CHEN, S.; SENESI, N.; SCHITZER, M. Information provide on humic substances by E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> ration. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, Madison, v. 41, p. 352-358, 1977.

CHENU, C., BISSONNAIS, Y., ARROUAYS, D. Organic Matter Influence on Clay Wettability and Soil Aggregate Stability. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64, p. 1479–1486, 2000.

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil – structure, function and turnover. Dias Report n. 30 **Plant production**, Tjele, p. 95, 2000.

CIDE – **Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://www.cide.rj.gov.br>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

COLLINS, H.P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: SOIL ORGANIC MATTER IN TEMPERATE AGROECOSSYSTEMS – LONG-TERM EXPERIMENTS IN NORTH AMERICA. Boca Raton, CRC Press., 1997. p. 51-72.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. **Agronomy**, Washinton, p. I, v. 9, p. 545-567, 1965.

DERPSCH, R. Expansão mundial do plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 59, n. 1, p. 32 - 40, 2000.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120. p. 201–214, 2004a.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, v. 120, p. 215–225, 2004b.

DICK, D. P., MANGRICH, A. S., MENEZES, S. M. C., PEREIRA B. F. Chemical and Spectroscopical Characterization of Humic Acids from two South Brazilian Coals of Different Ranks. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 13, n. 2, p. 177-182, 2002.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society of American**, SSSA Special Publication, 35, p.3-21, 1994.

EMBRAPA, Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. **Método de Análise de Solos e Calcários**. Boletim Técnico nº 55. Rio de Janeiro, 1979. 32p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed.atual. Rio de Janeiro, (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1), 1997. 212 p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos – Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FALLEIRO, R. M., SOUZA, C. M., SILVA, C. S. W., SEDIYAMA, C. S., SILVA, A. A., FAGUNDES, J.L. Influência do sistema de preparo nas propriedades química e física do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FELLER, C. Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low-activity clay soils in tropical zones. In: Mulongov, K., Merckx, R. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Leuven: Willey-Sayce., 1993. p.77-88.

FERNADES, E. C. M., MOTAVALLI, P. P., CASTLHA, C. MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, v. 79, p. 49-67, 1997.

FERREIRA, M. M., FERNANDES, B., CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999.

FONTANA, A., PEREIRA, M. G. NASCIMENTO, G. B. N., ANJOS, L. H. C. A. EBLING, A. G. Matéria orgânica em solos e tabuleiros na Região Norte Fluminense-RJ. **Floresta Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 114-119, jan./dez. 2001.

FREITAS, P. L., BLANCANEUX, PH., GAVINELLI, E., LARRÉ-LARROUY, M. C., FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. Agr. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, jan. 2000.

FREIXO A.A., MACHADO, P. L. O. de A., SANTOS, H. P. dos, SILVA, C. A., FADIGAS, F. de S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Till. Res.**, v. 64, p. 221-230, 2002.

GIAROLA, N. F. B., SILVA, A. P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Sc. Agr.**, v. 59, n. 3, p. 613-620, jul./set. 2002.



GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. BRAGANTIA – Boletim técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. V.19, n.13, p.201-213. 1960.

HEVIA, G. G., BUSCHIAZZO D. E., HEPPEL E. N., URIOSTE A. M., ANTÓN E. L. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. **Geoderma**, v. 116, p. 265– 277, 2003.

IBGE, **Censo Agropecuário**. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 janeiro 2005.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996. Cruz das Almas, BA: **Anais...** Aracaju - SE: EMBRAPA-CPATC, EMBRAPA-CNPMP/EAUFBA/IGUFBA, 1996.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In. WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracajú, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. 2001. p. 19-46.

JUMA, N. G. Interrelationships between soil structure/texture, soil biota/soil organic matter and crop production. **Geoderma**, v. 57, p. 3-30, 1993.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A., ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, v. 114, p. 145-156, 2003.

KONONOVA, M. M. **Soil organic matter**. Pergamon Press, London , 450 p., 1966.

LARSON, W. F., PIERCE, F. J., 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In: KARLEN, D.L.; DITZLER, C.A., ANDREWS, S.S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, v. 114, p. 145-156, 2003.

LEMOS, R. C., SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Ed. Campinas, 3 ed. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1996. 84 p.

LI, L., HUANG, W., PENG, P., SHENG, G., Fu, J. Chemical and Molecular Heterogeneity of Humic Acids Repetitively Extracted from a Peat. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 67. p. 740–746, 2003.

LIMA, C. L. R., PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S., SILVA, J. B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 199-205, 2003.

LIMA, H. V., SILVA, A. P., JACOMINE, P. T. K., ROMERO, R. E., LIBARDI, P. L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 467-476, 2004.

LÜTZOW M. von, LEIFELD, J., KAINZ M., KOGEL-KNABNER I., MUNCH J. C. Indications for soil organic matter quality in soils under different management. **Geoderma**, v. 105, p. 243–258, 2002.

MADARI, B. MACHADO, P. L. O. A., TORRES, E., ANDRADE, A. G. de, VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil & Till. Res.**, v. 80, n. 1-2, p. 185-200, 2005.

MAIA, J. L. T., RIBEIRO, M. R. Propriedade de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 79-87, jan. 2004.

MARTIN-NETO, L., ROSELL, R., SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. **Geoderma**, v. 81, p. 305-311, 1998.

MENDONZA, H. N. S., LIMA, E., ANJOS, L. H. C. et al. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, p. 201-207, 2000.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2.ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290 p.

NASCIMENTO, G. B. do. Caracterização dos solos e avaliação de propriedades edáficas em ambientes de tabuleiros costeiros da região Norte Fluminense, RJ. Seropédica, 2001. 162 p. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio Janeiro.

PAIVA, A. Q., SOUZA, L. S., RIBEIRO, A. C. Propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de tabuleiro do Estado da Bahia. **Pesq. agropec. Bras.**, vol. 35, n. 11, p. 2295-2302, nov. 2000.

PICCOLO, A. Characterization of soil humic extracts obtained by some organic and inorganic solvents and purified by HCL-HF treatment. **Soil Sci.**, v. 146, p. 418-426, 1988.

PICCOLO, A., PIETRAMELLARA, G., MBAGWU, J. S. C. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. **Geoderma**, v. 75, p. 267-277, 1997.

PINHEIRO, E. F. M., PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C. Agregates distribution and soil organic matter under different tillage system for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil & Till Res.**, v. 77, p. 79-84, 2004.

REZENDE, J. de O. Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo aluvial (estudo de caso). Piracicaba, SP, 1979. 112 p. Originalmente apresentada como tese de doutorado, ESALQ/USP.

REZENDE, J. de O. **Compactação e adensamento do solo: métodos para avaliação e práticas agrícolas recomendadas**. CD-ROM, 1997.

REZENDE, J. de O. **Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, Série Estudos Agrícolas 1. 2000. 117 p.

RIBEIRO, L. P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracajú, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 93-121.

RIBEIRO, L. P. **Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: Gênese, Evolução e Degradação**. Salvador-BA: SEPLANTEC, CADCT, 1998. 98 p.

RICCA, G., FEDERICO, L., ASTORI, C., GALLO, R. Structural investigations of humic acid from leonardite by spectroscopic methods and thermal analysis. **Geoderma**, v. 57. p. 263-274, 1993.

RUSSEL, J. D. Infrared methods IN: WILSON, M.J., ed. A handbook of determinative methods in clay mineralogy London, Blackie & Sons, 1987. p.133-173.

SÁ, R. C. PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Características físicas e químicas de solos de tabuleiros em Sooretama (ES). **Rev. Flor. Amb.**, v. 10, n. 2, p. 95-99, ago./dez. 2003.

SALCEDO, I. H. Movimento de nutrientes no solo: possíveis efeitos dos horizontes coesos/compactados. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracajú, 2001. Anais. Aracajú. EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 209-228.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A., ROIG, A., CEGARRA, J., BERNAL, M. B., PAREDES, C. Efectts of HCL-HF purification treatment on chemical composition and structure of humic acids. **Eur. J. Soil Sc.**, v. 53. p. 375-381, 2002.

SCHNITZER, M. Soil organic matter – the next 75 years. **Soil Sci.**, v. 115, p. 41-58, 1991.

SILVA, G. C., NASCIMENTO, M. T. Fitossociologia de um remanescente de mata sobre tabuleiros no norte do estado do Rio de Janeiro (Mata do Carvão). **Revta Brasil. Bot.**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 51-62, mar. 2001.

SILVA, L. F. **Solos tropicais: Aspectos pedológicos, ecológicos e de manejo**. São Paulo: Ed. Terra Brasilis, 1995. 137 p.

SILVA, M. S. L., RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo de cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiros no Estado de Alagoas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 16, p. 397-402, 1992.

SILVERSTEIN, R.M., BASSLER, G.C., MORRIL, T.C. **Spectrometric identification of organic compounds**. New York: John Wiley e Sons, 1987. 301 p.

SIX, J., ELLIOTT, E. T., PAUSTIAN, K. Soil Structure and Soil Organic Matter: II. A Normalized Stability Index and the Effect of Mineralogy. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64. p. 1042–1049, 2000.

SIX, J., ELLIOTT, E. T., and PAUSTIAN, K. Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 63, p. 1350–1358, 1999.

SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., OGLE, S. M., SÁ, J. C. M., ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. **Agronomie**, v. 22, p. 755–775, 2002.

SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1, Cruz das Almas, 1996. **Anais...** Aracajú: EMBRAPA-CPATC, EMBRAPA-CNPMP/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p. 36-75.

SOUZA, W. J. O. and MELO, W. J. Soil organic matter in an oxisol under different corn production systems. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, nov./dec. 2003.

SPOSITO, G. **The chemistry of soil**. New York, Oxford University Press, 1989. 277 p.

STEELINK, C. Implications of elemental characteristics of humic substances. p. 457-476 In: Aiken et al. (Eds) Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization. Wiley, 1985.

STEVENSON, F. J., GOH, K. M. Infrared spectra of humic acids and related substances. **Geochim. Cosmochim. Acta**, Kidlington, v. 35, p. 471-483, 1971.

STEVENSON, F. J. **Húmus chemistry**. New York, John Wiley & Sons, 1982. 443p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed. New York: Wiley-interscience publication, 1994. 495p.

URQUIAGA, S., RESENDE, A., GONDIM, A. OLIVEIRA, O., SALLES, L. ALVES, B. LIRA, L. GUIMARÃES, H. D., BODDEY, R. M. Efeito da queima e adições de vinhaça e adubo nitrogenado na produção de cana-de-açúcar. IN: WORKSHOP SOBRE AVALIAÇÃO E MANEJO DE RECURSOS NATURAIS EM ÁREAS DE EMPLOCAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1997, Aracajú-SE, palestras, Aracajú: Embrapa-CPATC, 126p. p.59-64. 1997.

VOLKOFF, B. Produtos ferruginosos que determinam a cor dos latossolos na Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 2, p. 55-59, 1978.

ZECH, W. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 117-161, 1997.

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

**APÊNDICE I** – Resumo dos quadros das análises de variâncias para COS, pH, P, K, Ca+Mg, SB, T, V, H+Al.

**Carbono orgânico do solo.**

Variável: Carbono orgânico do solo (COS) na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F(1)
Cobertura	2	5,03*
Solo	1	6,87*
Cobertura x Solo	2	5,68**
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>		
Solo dentro de Pasto	1	1,87NS
Solo dentro de Cana	1	0,09NS
Solo dentro de Floresta	1	17,69**
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	38,30
Média (g kg <sup>-1</sup> )	7,4
Desvio Padrão(g kg <sup>-1</sup> )	2,8

Variável: Carbono orgânico do solo (COS) na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	1,24 <sup>NS</sup>
Solo	1	3,64 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	10,01**
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>		
Solo dentro de Pasto	1	9,88*
Solo dentro de Cana	1	6,10*
Solo dentro de Floresta	1	8,43*
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	25,27
Média (g kg <sup>-1</sup> )	5,8
Desvio Padrão(g kg <sup>-1</sup> )	1,5

Variável: Carbono orgânico do solo (COS) na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	0,19 <sup>NS</sup>
Solo	1	0,11 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	17,97**
Solo dentro de Pasto	1	0,48 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Cana	1	6,10*
Solo dentro de Floresta	1	20,54**
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	21,78
Média (g kg <sup>-1</sup> )	3,9
Desvio Padrão(g kg <sup>-1</sup> )	0,8

Variável: Carbono orgânico do solo (COS) na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	2,14 <sup>NS</sup>
Solo	1	0,24 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	5,64**
Solo dentro de Pasto	1	0,43 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Cana	1	10,68*
Solo dentro de Floresta	1	2,53 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	35,33
Média (g kg <sup>-1</sup> )	3,6
Desvio Padrão(g kg <sup>-1</sup> )	1,3

### Acidez do solo em H<sub>2</sub>O.

Variável: Acidez do solo em H<sub>2</sub>O (pH) na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	9,69**
Solo	1	6,70*
Cobertura x Solo	2	1,35 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	6,88
Média	5,61
Desvio Padrão	0,39

Variável: Acidez do solo em H<sub>2</sub>O (pH) na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	10,51**
Solo	1	5,54*
Cobertura x Solo	2	1,70 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	7,44
Média	5,48
Desvio Padrão	0,41

Variável: Acidez do solo em H<sub>2</sub>O (pH) na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	11,85**
Solo	1	4,82*
Cobertura x Solo	2	1,63 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	7,13
Média	5,30
Desvio Padrão	0,38

Variável: Acidez do solo em H<sub>2</sub>O (pH) na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	11,60**
Solo	1	1,98 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	0,56 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	6,92
Média	5,16
Desvio Padrão	0,36

## Fósforo.

Variável: Fósforo (P) na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	3,78 <sup>NS</sup>
Solo	1	9,29**
Cobertura x Solo	2	0,99 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	26,28
Média (mg kg <sup>-1</sup> )	5,54
Desvio Padrão(mg kg <sup>-1</sup> )	1,46

Variável: Fósforo (P) na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	33,44**
Solo	1	0,01 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	2,42 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	29,36
Média (mg kg <sup>-1</sup> )	3,87
Desvio Padrão(mg kg <sup>-1</sup> )	0,13

Variável: Fósforo (P) na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	6,60**
Solo	1	2,69 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	3,97*
Solo dentro de Pasto	1	5,01 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Cana	1	6,62*
Solo dentro de Floresta	1	0,3 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	58,53
Média (mg kg <sup>-1</sup> )	3,06
Desvio Padrão(mg kg <sup>-1</sup> )	1,79



Variável: Fósforo (P) na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	16,61**
Solo	1	2,92 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	3,24*
Solo dentro de Pasto	1	2,60 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Cana	1	6,92*
Solo dentro de Floresta	1	2,47 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	45,72
Média (mg kg <sup>-1</sup> )	2,90
Desvio Padrão(mg kg <sup>-1</sup> )	1,33

## Potássio.

Variável: Potássio (K) na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	17,15**
Solo	1	0,92 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	1,47 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	40,21
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,89
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,36

Variável: Potássio (K) na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	114,13**
Solo	1	20,64**
Cobertura x Solo	2	6,58*
Solo dentro de Pasto	1	2,58 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Cana	1	2,12 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Floresta	1	11,46**
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	18,47
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,47
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,09

Variável: Potássio (K) na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	62,43**
Solo	1	0,02 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	0,61 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	32,67
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,31
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,10

Variável: Potássio (K) na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	85,24**
Solo	1	0,01 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	0,15 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	25,73
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,21
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,05

### Cálcio + Magnésio.

Variável: Cálcio e magnésio (Ca+Mg) na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	8,30**
Solo	1	2,06 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	0,59 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	44,04
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,57
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,69

Variável: Cálcio e magnésio (Ca+Mg) na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	7,12**
Solo	1	0,83 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	1,61 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	30,63
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,14
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,35

Variável: Cálcio e magnésio (Ca+Mg) na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	3,62*
Solo	1	0,22 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	0,68 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	34,92
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,89
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,31

Variável: Cálcio e magnésio (Ca+Mg) na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	2,80 <sup>NS</sup>
Solo	1	0,26 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	1,10 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	38,12
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,74
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,28

## Soma de bases.

Variável: Soma de bases (SB) na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	15,04**
Solo	1	3,04 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	0,94 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	35,34
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,87
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,01

Variável: Soma de bases (SB) na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	17,73**
Solo	1	4,39*
Cobertura x Solo	2	3,09 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	26,83
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,93
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,52

Variável: Soma de bases (SB) na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	13,73**
Solo	1	1,62 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	2,69 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	27,05
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,49
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,40

Variável: Soma de bases (SB) na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	10,01**
Solo	1	0,01 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	2,03 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	28,40
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,26
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,36

## Valor T.

Variável: Valor T na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	12,48**
Solo	1	2,50 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	3,05 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	24,50
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,30
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,05

Variável: Valor T na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	9,92**
Solo	1	2,32 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	2,74 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	24,01
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,54
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,85

Variável: Valor T na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	17,79**
Solo	1	1,84 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	4,16*
Solo dentro de Pasto	1	0,86 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Cana	1	2,17 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Floresta	1	5,15*
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	16,31
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,06
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,50

Variável: Valor T na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	7,83**
Solo	1	0,01 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	0,74 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	22,12
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,94
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,65

## Valor V.

Variável: Valor V na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	21,85**
Solo	1	0,47 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	0,59 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	16,38
Média (%)	65
Desvio Padrão (%)	11

Variável: Valor V na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	16,76**
Solo	1	0,16 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	1,82 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	19,11
Média (%)	55
Desvio Padrão (%)	11

Variável: Valor V na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	21,64**
Solo	1	0,01 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	2,15 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	23,47
Média (%)	50
Desvio Padrão (%)	12

Variável: Valor V na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	22,03**
Solo	1	1,11 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	5,37*
Solo dentro de Pasto	1	6,36*
Solo dentro de Cana	1	0,06 <sup>NS</sup>
Solo dentro de Floresta	1	1,98 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); \* (p<0,05); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	24,90
Média (%)	45
Desvio Padrão (%)	11

### Acidez potencial.

Variável: Acidez potencial (H+Al) na profundidade de 0-5 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	8,52**
Solo	1	0,04 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	3,19 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	35,06
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,43
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,50

Variável: Acidez potencial (H+Al) na profundidade de 5-10 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	7,62**
Solo	1	0,12 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	1,41 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	37,36
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,62
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,34

Variável: Acidez potencial (H+Al) na profundidade de 10-20 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	22,53**
Solo	1	0,13 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	2,25 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	28,90
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,57
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,45

Variável: Acidez potencial (H+Al) na profundidade de 20-40 cm.

Fontes de variação	GL	F <sup>(1)</sup>
Cobertura	2	16,10**
Solo	1	0,04 <sup>NS</sup>
Cobertura x Solo	2	1,77 <sup>NS</sup>
Total corrigido	29	

<sup>(1)</sup> \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> não significativo.

Número de observações	30
Coefficiente de variação (%)	33,74
Média (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,68
Desvio Padrão (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,57