

ARLEY FIGUEIREDO PORTUGAL

RESILIÊNCIA DA ESTRUTURA EM ARGISSOLO SOB  
DIFERENTES USOS, NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do Título de "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2005

ARLEY FIGUEIREDO PORTUGAL

RESILIÊNCIA DA ESTRUTURA EM ARGISSOLO SOB DIFERENTES USOS,  
NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do Título de "*Magister Scientiae*".

APROVADA: 04 de março de 2005.

---

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer  
(Conselheiro)

---

Prof. Júlio César Lima Neves  
(Conselheiro)

---

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho

---

Prof. Ricardo Henrique Silva Santos

---

Prof. Ivo Jucksch  
(Orientador)

A Deus, pela vida, pela salvação e pelo amor, que é sem medida.

À minha amada esposa Poliane, pela companheira que é, pelo amor que me tem e que tenho por ela, pela paciência, pela força, pelo ensino, pela vida que temos juntos, enfim. Essa vitória também é sua (“Por isso, deixa o homem pai e mãe e se une a mulher, tornando-se os dois uma só carne...Gn2:24”).

Às minhas amadas filhinhas Milena e Hadassa, por existirem, e por me mostrarem um mundo novo, repleto de maravilhas... Amo vocês com um amor que desconhecia.

Aos meus queridos pais, Paulo Legs Amon e Marlene, pelos ensinamentos, pelo amor, pela torcida, pelo apoio, pelas palavras de conforto nas horas mais difíceis dessa vida, e, sobretudo pelo exemplo. Vocês sempre estarão em meus pensamentos e no meu coração.

Aos meus irmãos, Alysson e Giselli, e cunhados Tatiana e Renan, as minhas tias e tios, primos e primas, pelo carinho e amizade.

Aos meus queridos Paulo, Alucy, Paula, Cristiano, Paulinho e Edson, pelo carinho e afeto que me receberam. Agradeço a Deus por colocá-los em minha vida.

Aos meus sobrinhos, Rian, Pedro e Rafael, pelo carinho, sinceridade e alegria.

Aos meus amigos especiais, Josué, Adriano, Jean, Marcelo e André (*in memoriam*), pela amizade sincera, pelo tempo, e por tudo que passamos juntos.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, pelo cuidado, pelo amor e pela minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, por me proporcionarem o ingresso e condições financeiras e estruturais para o desenvolvimento e realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo.

Ao proprietário Adalberto e família, pela oportunidade de realização deste trabalho em sua propriedade, pela atenção, préstimos e amizade construída.

Ao professor Ivo Jucksch, pela orientação, paciência, amizade e prestimosidade durante a realização do trabalho.

Aos professores Júlio César Lima Neves, Elpídio Inácio Fernandes Filho, Ricardo Henrique Silva Santos pelos ensinamentos, atenção e conselhos valiosos na realização deste trabalho.

Ao professor Carlos Ernesto R. G. Schaefer, pelo acompanhamento de perto e aconselhamentos na realização deste trabalho, pela amizade e pela grande contribuição na minha caminhada profissional.

Ao professor Liovando Marciano da Costa, pelos ensinamentos e contribuição em minha vida profissional, incentivo e amizade sincera.

Aos pesquisadores e amigos Rogério Della Riva, Beno Wendling e Nilson Gomes, pela contribuição prestada, pela amizade e pelo companheirismo.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial aos técnicos de laboratório Claudinho (física do solo) e Braz (matéria orgânica), pelo apoio fundamental no decurso dos trabalhos de laboratório.

Ao funcionário Lula, pela alegria e préstimos na coleta das amostras em campo.

Às secretárias Luciana e Sônia, pela ajuda e pela camaradagem sempre demonstrada.

Aos companheiros de curso Sandro Caires, Elton Luis Valente, Marcos Gomes, Flancer Novais, Rodinei Facco, Juberto Babilônia, Fabrício Gebrim, Eulene, Edson e tantos outros, pelos momentos agradáveis e companheirismo durante as atividades do curso.

Aos amigos de fé, Serginho, Sidney, Mário, Rony, Charles, Alexandre, Leonardo Magalhães, Bruno, André, Maurinho, Darik, Herbert, Lívio, Leo (formiga), Leo (Itapicirica), Klever, Luciano, Lauro, Edgar, Marcelo (Coro) e tantos outros, pelo convívio agradável, pelos bons momentos e pela amizade sincera.

A todos os professores do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas que transmitiram seus conhecimentos no decorrer do curso.

Finalmente, a todos que, de qualquer modo, contribuíram para a concretização deste curso de pós-graduação.

## **BIOGRAFIA**

Arley Figueiredo Portugal, filho de Paulo Legs Amon Portugal e Marlene Figueiredo Portugal, nasceu 02 de dezembro de 1977 na cidade de Boa Esperança, Minas Gerais.

Em Março de 2003, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em Agosto de 2003, iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO .....	xi
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	03
2.1. Definição de estrutura .....	03
2.2. Resiliência da estrutura .....	04
2.3. Fatores que afetam a estrutura do solo .....	05
2.3.1. Textura .....	05
2.3.2. Matéria orgânica .....	07
2.3.3. Vegetação .....	10
2.3.4. Uso e manejo do solo .....	13
2.3.5. Fauna do solo .....	14
2.3.6. Microrganismos .....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3.1. Histórico .....	18
3.1.1. Histórico do município .....	18
3.1.1. Histórico da área .....	19
3.2. Localização, clima e solo .....	21
3.3. Amostragem e coleta .....	22
3.4. Características avaliadas .....	23

3.4.1. Atributos físicos do solo .....	23
3.4.1.1. Densidade de solo .....	23
3.4.1.2. Densidade de partículas .....	23
3.4.1.3. Porosidade total .....	24
3.4.1.4. Macroporosidade e microporosidade .....	24
3.4.1.5. Análise textural .....	24
3.4.1.6. Argila dispersa em água .....	24
3.4.1.7. Grau de dispersão e grau de floculação .....	25
3.4.1.8. Equivalente de umidade .....	25
3.4.1.9. Estabilidade e distribuição de agregados .....	25
3.4.2. Atributos químicos do solo .....	27
3.4.3. Carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica .....	27
3.4.4. Caracterização mineralógica .....	27
3.4.6. Morfologia de agregados .....	27
3.4.5. Micromorfologia .....	29
3.4.7. Análise estatística .....	29
4. RESULTADO E DISCUSSÃO .....	31
4.1. Caracterização do solo .....	31
4.1.2. Caracterização química do solo .....	31
4.1.2. Macroestrutura do solo .....	34
4.1.3. Caracterização mineralógica .....	38
4.2. Textura, argila dispersa em água e grau de dispersão e floculação .....	40
4.3. Carbono orgânico .....	42
4.4. Substâncias húmicas .....	46
4.5. Densidade do solo, densidade de partículas, microporosidade e macroporosidade, porosidade total e equivalente de umidade .....	51
4.6. Estabilidade e distribuição de agregados .....	58
4.7. Morfologia de agregados .....	63
4.8. Micromorfologia .....	67
5. CONCLUSÕES .....	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76

## LISTA DE QUADROS

	Página
1 Nome, coeficiente e efeitos dos contrastes estabelecidos .....	30
2 Características químicas do solo sob mata e diferentes usos agrícolas para as diferentes profundidades .....	32
3 Descrição da estrutura dos horizontes pedológicos do solo sob mata e diferentes usos agrícolas .....	35
4 Valores médios para areia Grossa (AG), areia fina (AF), silte (SIL), argila (ARG), argila dispersa em água (ADA), grau de flocculação (GF) e grau de dispersão (GD), sob mata e diferentes usos agrícolas nas diferentes profundidades, e respectivos valores dos contrastes médios. ....	41
5 Carbono orgânico total (COT), fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH), fração humina (FHN) e o somatório das frações ácidos fúlvicos, húmicos e humina ( $\Sigma$ ), para as diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios do solo sob mata e diferentes usos agrícolas .....	44
6 Estimativas dos contrastes médios e valores médios estabelecidos para as relações entre fração ácidos húmicos / fração ácidos fúlvicos; fração ácidos húmicos / fração humina; fração humina / (fração ácidos fúlvicos + fração ácidos húmicos) e fração humina / (frações ácidos fúlvicos + ácidos húmicos + humina), para as diferentes profundidades, do solo sob mata e diferentes usos agrícolas. ....	50
7 Valores médios de densidade do solo (DS), densidade de partículas, microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma), porosidade total (Pt) e equivalente de umidade (EU) para as	

	diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios do solo sob mata e diferentes usos agrícolas .....	54
8	Valores médios das classes de agregados > que 2 mm (AG1), de 1 a 2 mm (AG2), de 0,50 a 1 mm (AG3), de 0,250 a 0,50 mm (AG4), de 0,105 a 0,205 mm (AG5) e menor que 0,105 mm (AG6), nas diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios para o solo sob mata e diferentes usos agrícolas .....	60
9	Representação de figuras geométricas com seus respectivos valores de grau de arredondamento, obtidos com base no programa QUANTPORO .....	63
10	Valores médios para as características área, grau de arredondamento (GA), comprimento do maior eixo (MaEx), comprimento do menor eixo (MeEx) e alongamento (At) para os agregados entre 2 e 4 mm, nas diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios, no solo sob mata e diferentes usos agrícolas .....	64
11	Valores médios para as características área, grau de arredondamento (GA), comprimento do maior eixo (MaEx), comprimento do menor eixo (MeEx) e alongamento (At) para os agregados entre 1 e 2 mm, nas diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios, no solo sob mata e diferentes usos ....	66
12	Descrição da microestrutura de Argissolo com base nas lâminas retiradas da superfície do solo sob mata, seringueira, laranja e pastagem degradada. ....	71

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Difratoograma com a composição mineralogia da fração argila do solo sob mata .....	39
2 Fotomicroscopia da microestrutura em lâmina delgada na superfície dos Argissolos sob mata (a,b), seringueira (c,d), laranja (e,f) e pastagem (g,h), feitas em microscopia com lente de 40 vezes. ....	68
3 Porcentagem de área de poros em lâmina delgada, na superfície do solo sob mata, seringueira, laranja e pastagem degradadada. ....	73

## RESUMO

PORTUGAL, Arley Figueiredo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2005. **Resiliência da estrutura em Argissolo sob diferentes usos, na Zona da Mata de Minas Gerais.** Orientador: Ivo Jucksch. Conselheiros: Carlos Ernesto G. R. Schaefer e Julio César Lima Neves.

A estrutura apresenta grande importância no comportamento agrícola do solo, uma vez que exerce grande influência nos ciclos de carbono e de nutrientes, na capacidade de receber, estocar e transmitir água, na difusão de gases, na penetração das raízes e na capacidade de resistir à erosão, que são fatores determinantes para o crescimento das plantas. Nesse sentido, este trabalho objetivou verificar o grau da resiliência da estrutura de um solo submetido a diferentes usos e manejos. O trabalho foi realizado em Visconde do Rio Branco, na Zona da Mata de Minas Gerais, classificado como Domínio dos Mares de Morros. Foram avaliados ambientes com seringueira, laranjeira, pastagem degradada e mata (referência). Os ambientes com seringueira e pastagem degradada encontram-se sob este uso há mais de 15 anos, e a laranjeira há 6 anos. Anteriormente os ambientes com seringueira, laranjeira e pastagem degradada foram cultivados com cana-de-açúcar por aproximadamente 100 anos, que provocou grande degradação do solo, pelo manejo aplicado e relevo movimentado. A amostragem em cada ambiente foi sucedida por coletas realizadas em trincheiras (3 repetições), nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, onde foram coletadas amostras

deformadas e indeformadas. Foi avaliada a macroestrutura no campo, a estabilidade e distribuição de agregados, morfologia dos agregados (QUANTPORO), densidade do solo, densidade de partículas, macro e microporosidade, equivalente de umidade, argila dispersa em água, grau de flocculação e dispersão, textura, características químicas, mineralogia, micromorfologia, carbono orgânico e substâncias húmicas. Os resultados indicaram que o grau de resiliência da estrutura para as condições de referência (mata) foi seringueira > laranjeira > pastagem degradada, com ativa formação da estrutura por processos biológicos nos ambientes com seringueira e laranjeira, ao passo que no ambiente com pastagem a estrutura foi marcadamente influenciada por processos físicos. O ambiente com seringueira apresentou o grau mais avançado de resiliência estrutural, coexistindo os maiores valores de COT, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, humina, macroporosidades e retenções de água, e os menores valores de densidade do solo, em todas as profundidades, sendo inverso ao comportamento da pastagem degradada. Não houve diferenças entre os ambientes avaliados quanto a argila dispersa em água, grau de flocculação, grau de dispersão e estabilidade e distribuição de agregados na profundidade de 0 a 10 e 10 a 20 cm, bem como na morfologia dos agregados em todas as profundidades. A análise micromorfológica confirmou a resiliência estrutural para as condições de referência (mata) na ordem seringueira > laranja > pastagem. A pastagem mostrou uma microestrutura massiva, em blocos quase totalmente coalescidos, e porosidade basicamente fissural, com raros canais biológicos, enquanto na seringueira houve um maior desenvolvimento estrutura, ocorrendo poros de empacotamento e grande volume de poros interagregados, e expressiva ocorrência de matéria orgânica leve e canais biológicos.

## ABSTRACT

PORTUGAL, Arley Figuieredo, M. S., Universidade Federal de Viçosa, March, 2005. **Resilience of soil structure of an Ultisol under different land uses, at the Zona da Mata, MG.** Adviser: Ivo Jucksch. Committee members: Carlos Ernesto G.R. Schaefer and Julio César Lima Neves.

Soil structure has a great importance for agricultural production, since it exerts marked influences on carbon cycles, nutrient cycling and water behavior, as well as to soil gas which are plant development limiting factors. Thus, this work aimed to verify the resilience of an Ultisol under different land uses. The work was located in Visconde do Rio Branco, at the Zona da Mata of Minas Gerais state. There were evaluated the following uses: Orange plantation, rubber trees plantation, pasture and rain forest, as reference. Pasture and rubber trees were established 15 years ago, and orange for 6 years. Rubber trees, orange and pasture were cultivated by sugar-cane for a century, which accounted for soil degradation. Sampling was carried out in three replicates (soil pits) at the depths of 0 - 10, 10 - 20 and 20 - 30 cm, both undeformed and deformed sub-samples. In these samples, attributes such as aggregate stability, aggregate morphology (through QUANTPORO program), soil density, particle density, macro and microporosity, moisture equivalent, water-dispersible clay, flocculation and dispersion degree, texture, chemical, mineralogical, micromorphological, organic carbon and humic fractions contents were evaluated. The highest degree of resilience to the original structure was observed for rubber tree plantation, followed by orange plantation and, the least

recover, in the degraded pasture. Biological activity was maximum under rubber trees and orange, whereas degraded pasture shows less biological influence and greater physical exposure. Rubber trees show greater organic carbon, humic fractions, macroporosity and water retention, with lower soil density, at all depths. The opposite was observed for degraded pasture. There was no significant difference between the studied environments, with regard to water dispersible clay, flocculation and dispersion degree and aggregate stability at the depth 0-10 and 10-20 cm, as well as aggregate morphology, at all depths. The micromorphological analyses have confirmed the higher structural resilience of forest, followed by rubber-tree > orange > pasture. In the latter, there is a massive structure of welded blocks, and porosity of fissural type, with biological channels. In the rubber tree plantation, the structure was well developed, with abundant packing voids and higher volume of intergranular porosity, with strong biological activity and organic matter.

## 1. INTRODUÇÃO

A retirada da cobertura vegetal natural e a utilização do solo para atividades agrícolas têm provocado uma série de alterações nas propriedades físicas do solo. Esses impactos podem ser positivos ou detrimental nas funções exercidas pelo solo, uma vez que a agregação e estruturação são características dinâmicas do solo, e podem ser facilmente alteradas, dependendo principalmente da natureza do solo, da espécie vegetal, do sistema de manejo usado e do tempo de exploração agrícola.

A importância da estrutura do solo tem sido reconhecida pelos pesquisadores a mais de 150 anos, ensejando em grande volume de pesquisas sobre a mesma (HARRIS et al., 1966; OADES, 1984; DEXTER, 1988; KAY, 1990; KAY & ANGERS, 1999, BRONICK & LAL, 2005).

A estrutura apresenta grande importância no comportamento agrícola do solo, uma vez que exerce grande influência nos ciclos de carbono e de nutrientes, na capacidade de receber, estocar e transmitir água, na difusão de gases, na penetração das raízes e na capacidade de resistir a erosão, que são fatores determinantes para o crescimento das plantas. Dessa forma, a estrutura do solo, geralmente avaliada pela distribuição e estabilidade dos agregados, tem sido proposta como um importante indicador da qualidade do solo (SIX et al. 2000b; SAGGAR et al.2001).

Sob o ponto de vista prático e de interesse econômico, o estudo das alterações na estrutura e agregação do solo, induzidas pelo uso do mesmo, assume relevante importância na previsão dessas alterações, com a finalidade de subsidiar a adoção de um sistema de manejo, que vise à manutenção ou recuperação do seu potencial agrícola e produtivo.

A hipótese desse trabalho é que o uso agrícola diferenciado de um mesmo solo altera a resiliência da estrutura, pela presença de diferentes espécies de plantas e diferentes práticas de manejo adotadas.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo principal verificar o grau de resiliência da estrutura de um solo submetido a diferentes usos, e com isso ter bases para entender mais sobre os processos de estruturação e sua relação com o uso e manejo desse solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Definição de estrutura

Por meio de processos físicos, físico-químicos e biológicos, as partículas primárias do solo (areia, silte e argila) agrupam-se em unidades compostas, chamadas agregados, elementos estruturais ou unidades estruturais, que diferem entre si em forma, tamanho, estabilidade e coerência. O conjunto de agregados com todas estas características forma a estrutura do solo (BAVER, 1956; GROHMANN, 1972; KIEHL, 1979).

Segundo NIKIFOROFF (1941), a estrutura é definida como o arranjo das partículas primárias do solo em agregados, nos quais as forças que ligam as partículas entre si são mais intensas que entre os agregados adjacentes. No SOIL SURVEY MANUAL (1951), encontra-se a definição de estrutura como sendo a agregação das partículas primárias do solo em unidades compostas, ou agrupamentos de partículas primárias, separadas dos agregados adjacentes por superfícies de fraca resistência. BREWER & SLEEMAN (1960), incluem os poros no conceito de estrutura, definindo-a como sendo a constituição física do material do solo, expresso pelo tamanho, forma e arranjo das partículas e vazios associados. BAVAR et al. (1973), assumiu o conceito de estrutura do solo como o arranjo das partículas do solo, no qual as partículas secundárias (agregados) são formadas por um agrupamento de partículas primárias (areia, silte e argila).

Mais recentemente, LAL (1991), afirma que estrutura do solo se refere ao tamanho, forma e arranjo de sólidos e vazios, continuidade de poros e vazios, e sua capacidade de reter e transmitir fluidos e substâncias orgânicas e

inorgânicas, e a habilidade de suportar um vigoroso crescimento do desenvolvimento de raízes.

A teoria proposta por TISDALL & OADES (1982) é a mais aceita para esclarecer como se formam os agregados do solo, sendo denominada de teoria da “hierarquização dos agregados”. Esses autores propõem uma classificação conforme o tamanho, sendo definidos cinco grupos de partículas (< 0,2  $\mu\text{m}$ ; de 0,02 a 2  $\mu\text{m}$ ; de 2 a 20  $\mu\text{m}$ ; de 20 a 250  $\mu\text{m}$  e > 2000  $\mu\text{m}$ ). Aqueles menores que 250  $\mu\text{m}$  foram denominados microagregados e, os maiores, macroagregados. Os mesmos autores observam que cada agregado é formado pela união dos agregados da classe que vem logo abaixo, seguindo, assim, uma ordem hierárquica. Conforme seus tamanhos, cada classe será unida por diferentes agentes de agregação.

## **2.2. Resiliência da estrutura**

O termo resiliência estrutural descreve a habilidade do solo de recuperar a sua forma estrutural através de processos naturais quando os stresses são reduzidos ou retirados. A recuperação relaciona-se, em primeira instância, a mudanças nas características dos poros e na distribuição das forças nas zonas de fraqueza (KAY & ANGERS, 1999).

A resiliência estrutural surge a partir de vários processos como ciclos de umedecimento e secagem, atividade biológica como desenvolvimento de raízes e atividade da fauna do solo. Os solos diferem na sua capacidade de recuperar a forma estrutural quando os estresses são removidos ou reduzidos. Solos que são mais resilientes são conhecidos como solos “self-muching” (WENKE & GRANT, 1994).

A resiliência estrutural é também exibida por uma recuperação parcial (relaxamento) da porosidade depois da remoção do stresse de compressão (MCBRUIDE & WATSON, 1990). A máxima mudança ou recuperação por diferentes mecanismos, e a taxa com que estas mudanças ocorrem, são

características particularmente importantes de solos onde as práticas de manejo levam a um aumento do estresse sobre o solo.

A resiliência estrutural é de grande importância, e esta relacionada com o tempo necessário para recuperação, processos biológicos e com o manejo aplicado, sendo que a magnitude do impacto desses processos é determinada por características da matriz do solo (KAY & ANGERS, 1999).

### **2.3. Fatores que afetam a estrutura do solo**

O fenômeno de agregação engloba tanto forças mecânicas quanto eletrostáticas. Então, todos os componentes do solo que atuam com estas forças, afetam a gênese da estrutura dos solos. Segundo KAY & ANGERS (1999), as características do solo que influenciam predominantemente a estrutura do solo são a textura, a matéria orgânica, a mineralogia, as plantas (cobertura vegetal), os organismos do solo. Estes fatores agem em conjunto, e a magnitude da sua influência na estrutura do solo pode variar com fatores não relacionados com o solo, tal como o clima, o uso da terra e as práticas de manejo.

Desta forma, os fatores que afetam a agregação do solo são seus próprios constituintes, e fatores externos, como os organismos, sejam animais e vegetais, além dos microrganismos, e também o clima tem papel essencial na formação da estrutura dos solos. A atividade antrópica também é um aspecto importantíssimo no que diz respeito à estrutura do solo, não só afetando diretamente os agregados, como também influenciando os fatores responsáveis pela agregação do solo.

#### **2.3.1. Textura**

A textura do solo tem grande influência na forma, estabilidade e resiliência da estrutura do solo, bem como na resposta da estrutura do solo aos fatores biológicos e ao manejo. Segundo VIANA et al. (2004), a estrutura e a textura são as propriedades físicas do solo consideradas mais importantes ao crescimento

das plantas e a natureza dinâmica da primeira, no entanto, torna o conhecimento dos fatores e mecanismos de sua variação no tempo e no espaço essencial para a modelagem e predição do comportamento do solo em uso.

As influências da textura nos poros, zonas de fraqueza e na agregação podem variar com a mineralogia e profundidade no perfil do solo. MANRIQUE & JONES (1991) encontraram que a densidade do solo foi positivamente correlacionada com o teor de argila nos horizontes B e C, mas não se correlacionou com a argila no horizonte A. As dificuldades de relacionar densidade do solo e textura no horizonte A são criadas pela forte influência do cultivo, tráfego e conteúdo de matéria orgânica na densidade do solo.

LARSON et al. (1980) encontraram que o índice de compressão, que é uma medida da susceptibilidade à compressão, aumenta linearmente com o teor de argila até aproximadamente 33%, permanecendo aproximadamente constante a partir desse valor.

A estabilidade dos agregados ao umedecimento e à abrasão mecânica, freqüentemente aumenta com o aumento do conteúdo de argila, mas esta relação varia com a profundidade do perfil. A quantidade de argila também influencia na agregação, sendo que quanto mais argiloso é o solo, menor é a influência da matéria orgânica como agente cimentante, sendo também o inverso verdadeiro, ou seja, quanto maior o teor de matéria orgânica em um solo, menor a influência da argila como cimentante (BAVER, 1956; RESENDE, 1990).

Solos arenosos normalmente não desenvolvem estrutura, e quando é formado algum agregado, este é pouco estável, já que os grãos de areia possuem pouca força de coesão entre si, mas em alguns casos estes agregados formados podem ditar o comportamento do solo, como por exemplo, quanto à densidade aparente, como encontrado por CARVALHO JÚNIOR (1995) estudando Latossolos de textura média, desde que possuam teor significativo de partículas com atividade coloidal.

Segundo OADES (1993), a formação de poros e outras zonas de fraqueza por processos biológicos podem ser mais importantes em solos de textura média ou com argila de baixa atividade que sofram pouca contração e expansão de que

em solos de textura fina, que são particularmente responsivos ao umedecimento e secagem.

A resiliência do solo com o tempo é mais fortemente influenciada pela fração argila que devido a fatores biológicos (KAY & ANGERS, 1999). Segundo BARZEGAR et al. (1995), o grau de reversibilidade da compactação do solo por desenvolvimento de microrrachaduras causadas pelo umedecimento de secagem aumenta com o potencial de contração e expansão da argila.

RAMOS et al. (2003) concluíram que os solos mais susceptíveis à formação de selamento superficial foram aqueles com maiores teores de silte e menores teores de matéria orgânica.

ARAÚJO et al. (2004) comentam que apesar das inúmeras vantagens da semeadura direta, tem-se verificado que, em solos argilosos, a compactação superficial do solo pode impor limitações à produtividade das culturas.

### **2.3.2. Matéria orgânica**

A principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação (GUIMARÃES et al., 2004). A partir do efeito na agregação, indiretamente são afetadas as demais características físicas do solo, como densidade, porosidade, aeração, capacidade de infiltração e retenção de água, fundamentais para a capacidade produtiva do solo.

Após a aproximação das partículas minerais, a matéria orgânica apresenta importante papel como um dos fatores determinantes da estabilização de agregados (BARTOLI et al., 1988; SILVA & MIELNICZUCK, 1997, SIX, et al., 2000a). Os compostos orgânicos participam das ligações entre partículas individuais do solo, atuando como agentes cimentantes das unidades estruturais pelas suas diversas características de superfície (LIMA et al., 2003). O efeito cimentante da matéria orgânica não é completamente conhecido. Sabe-se que cátions bivalentes associados com ácidos húmicos formam cimentos estáveis em água. Certos polissacarídeos formados pela decomposição da matéria orgânica ou pela atividade microbiana são responsáveis por essa ação cimentante. Então, as

evidências mostram que ocorrem certas adsorções orientadas ou ligações complexas de moléculas orgânicas com partículas de argila que são estabilizadas por subseqüentes desidratações (BAVER, 1956). Também KIEHL (1979) diz que a matéria orgânica forma complexos com os minerais, tornando os agregados mais estáveis mediante o aumento da atividade microbiana, hifas, substâncias viscosas e polissacarídeos, que são importantes agentes cimentantes.

Entretanto, embora universalmente conhecida pelo efeito na estabilização da estrutura do solo, os mecanismos pelos quais a matéria orgânica melhora a agregação do solo e impede a dispersão da argila são pouco conhecidos, além de controversos. Se por um lado a matéria orgânica repele água (BARTOLI et al., 1992a), portanto diminuindo a tendência dos agregados se desintegrarem em água, por outro, ela se adere à argila do solo, aumentando assim as cargas negativas das partículas finas, favorecendo a dispersão (ARIAS et al., 1996). CHANEY & SWIFT (1984) indicam correlação direta entre conteúdo de matéria orgânica e estabilidade de agregados, enquanto PICOLLO & MBAGWU (1990) enfatizam que são as frações da matéria orgânica ao invés da matéria orgânica total, que são mais importantes na modificação da estabilidade estrutural.

OADES (1984) diz que ânions orgânicos formam complexos com metais, favorecendo a dispersão de argilas por dois fatores: ao complexar íons tri e bivalentes, a concentração da solução diminui, quebrando as ligações entre argilas, que tinham estes metais como ponte; o aumento de ânions orgânicos aumenta as cargas negativas nas superfícies coloidais, aumenta a camada difusa de cátions associados à superfície, favorecendo a dispersão das argilas. BARTOLI et al. (1992) estudando o efeito de ácidos orgânicos e amorfos de Fe sobre a agregação observaram que o aumento do carbono orgânico adsorvido fez com que a carga superficial líquida, inicialmente positiva, progressivamente se tornasse negativa, e a taxa de floculação ficou menor, ou seja, maior dispersão.

Existem também diferenças de opinião quanto aos constituintes da matéria orgânica que são responsáveis pela melhoria da agregação do solo. ACTON et al. (1963), afirmaram que polissacarídeos correlacionam-se positivamente com os agregados do solo. Posteriormente, TISDALL & OADES (1982) reportaram que os

polissacarídeos atuam, no entanto, como agentes de ligação transitórios, decompostos rapidamente pelos microrganismos e associados predominantemente a agregados > 250 µm. Os mesmos autores consideraram as substâncias húmicas associadas com ferro, alumínio e aluminossilicatos, agentes de ligação persistentes de microagregados (< 250 µm).

Os polissacarídeos do solo são mucilagens provenientes do metabolismo microbiano (STEVENSON, 1994) e da decomposição de raízes, resíduos vegetais e animais e da exsudação radicular (OADES, 1984), e tem recebido atenção considerável por serem considerados importantes agentes cimentantes. KINSBURSKY et al. (1989) avaliando solos durante várias épocas após a adição de matéria orgânica, encontraram que as mudanças no conteúdo de polissacarídeos extraídos em água foram positivamente correlacionadas com as mudanças na agregação dos solos, dando indicações de que os polissacarídeos não somente eram lábeis, como também eram parcialmente responsáveis pelas mudanças na agregação dos solos.

A rizosfera é também um importante sítio de produção de mucilagens. Materiais orgânicos liberados pelas raízes no solo podem atingir de 40 a 79% do peso seco da rizosfera, e são considerados como substâncias estabilizadoras de agregados (OADES, 1978). Além do efeito direto das excreções radiculares na estabilização de microagregados devido à ação cimentante, poderá ocorrer influência indireta já que estes compostos orgânicos representam importante fonte de carbono e energia para os microrganismos heterotróficos do solo, e por meio da sua decomposição, ocorre a liberação de polissacarídeos de origem microbiana (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

As substâncias húmicas têm sido consideradas condicionadores de solo em potencial, apresentando vantagens em relação a outros agentes, como a natureza refratária de suas estruturas químicas, que as tornam mais resistentes ao ataque microbiano. No entanto, a efetividade em longo prazo das substâncias húmicas como condicionadores do solo pode depender da influência de fatores desagregantes externos, como os ciclos de umedecimento e secagem.

Os mecanismos pelos quais as substâncias húmicas induzem maior estabilidade de agregados do solo são explicados pela formação de complexos argilo-húmicos, por meio de pontes de cátions polivalentes adsorvidos nas superfícies das argilas (PICOLLO & MBAGWU, 1994; CANELLAS et al., 1999). Os grupos ácidos reativos se distribuem por toda a macromolécula, de forma que a ligação com cátions polivalentes pode ocorrer com diferentes partículas de argila simultaneamente. Como resultado, aumenta-se a agregação de partículas do solo. Essa adsorção não somente une as partículas de argila como também orienta a porção hidrofóbica das substâncias húmicas para o lado externo do agregado, reduzindo a infiltração de água e aumentando a estabilidade do solo (PICOLLO & MBAGWU, 1994).

CHANEY & SWIFT (1986) relataram aumento na estabilidade dos agregados em resposta ao uso de ácidos húmicos, comparativamente ao uso de polissacarídeos. PICOLLO & MBAGWU (1990) observaram que não somente a estabilidade dos agregados do solo foi fortemente correlacionada com o conteúdo de substâncias húmicas, mas também que quanto maior o tamanho molecular da fração húmica, maior era a estabilidade dos microagregados.

FORTUN et al. (1989) verificaram que a fração mais efetiva no aumento da agregação foi uma mistura de ácidos fúlvico e húmico, e que o efeito desta fração foi similar em solos de diferentes texturas, mas a intensidade foi maior em solos arenosos do que em argilosos. Também FORTUN et al. (1990) demonstraram que o ácido húmico e o fúlvico são mais efetivos no incremento da agregação, principalmente de solos com menos argila, afetando a forma e o tamanho dos agregados. A adição destes componentes aumentou os agregados maiores que 0,2 mm.

### **2.3.3. Vegetação**

O desenvolvimento das raízes é fortemente influenciado pela estrutura do solo, e, em contrapartida, as plantas também influenciam na forma, estabilidade e resiliência da estrutura. Segundo ANDRIOLI et al. (2004), as culturas apresentam

comportamento diferenciado sobre a agregação do solo, devido às diferenças morfológicas do sistema radicular, tempo de atuação, excreções, microorganismos associados às raízes e quantidade e tipo de compostos que originam.

A compressão criada pelo crescimento das raízes em poros já existentes ou na matriz do solo, resulta em novos poros ou na ampliação dos poros existentes. A influência das raízes nos poros varia com o estágio de crescimento e decomposição das plantas. As taxas de infiltração podem ser reduzidas pelo crescimento das raízes, que ocupam os poros, e a eficiência do transporte pode aumentar com a decomposição das raízes e remanescentes de resíduos nos poros (KAY, 1999).

Embora menos notáveis que os efeitos nos macroporos, os efeitos das raízes das plantas em poros menores podem ser muito importantes para a estrutura do solo. BRUAND et al. (1996) dizem que as pressões radiais e axiais exercidas pelo crescimento das raízes podem afetar os poros menores, por compressão do solo vizinho às raízes e pelo decréscimo no tamanho dos poros da zona imediata ao crescimento das raízes.

A formação de rachaduras no solo é um processo físico-químico com impacto significativo na movimentação de água e gases, bem como na penetração das raízes no solo (PRESTON et al., 2001). Dependendo do conteúdo e tipo de argila, alguns solos podem sofrer expansão e contração com a variação no conteúdo de água. Durante a contração, a perda de água está associada a perdas de volume e o conseqüente desenvolvimento de rachaduras nos planos de fraqueza. Assim, o tipo de vegetal presente tem marcada influência no padrão dessas rachaduras no solo, desde que as plantas causam uma redução da umidade no solo quando extraem água para o seu uso.

MATERECHERA et al. (1992) atribuíram a produção de pequenos agregados associados com o crescimento de raízes às rachaduras do solo causadas pelo stresse induzido pela absorção heterogênea de água pelas plantas. GREVERS & JONG (1990) encontraram diferenças nos macroporos devidos às espécies de gramíneas em solos expansíveis, e atribuíram essas diferenças à absorção de água e, assim, à dessecação do solo. Também, segundo estes

autores, onde apresentou maior produção de biomassa, maior foi a área e o comprimento dos macroporos.

A estabilidade estrutural também é afetada pelo conteúdo de água e suas variações com o tempo. A absorção de água pelas plantas e o conseqüente decréscimo na umidade do solo freqüentemente resulta num aumento da tensão do solo (LAFOND et al., 1992). Ao nível de agregação, a coesão do solo é acentuada pelo decréscimo no conteúdo de água, enquanto a dispersão de material do tamanho de argila decresce com a redução de água (CARON & KAY, 1992). A drenagem do solo pode também agir sinergicamente com os materiais agregantes que são produzidos na rizosfera e aumentar a estabilidade estrutural.

Em escala menor, raízes de plantas e pêlos radiculares podem também diretamente envolver e estabilizar agregados do solo em tamanhos milimétricos (TISDALL & OADES, 1982). DORMAAR & FOSTER (1991) demonstraram por meio de observações microscópicas que agregados são formados e estabilizados na vizinhança imediata das raízes.

Materiais orgânicos liberados pelas raízes e pela população microbiana na rizosfera podem ser eficientes na ligação das partículas, e desse modo, favorecer a estruturação (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Segundo CARON et al. (1992a) a drenagem que ocorre na zona de produção de mucilagem contribui para a eficiência dos agentes ligantes pelo aumento da sorção do material ligante sobre a superfície coloidal.

As raízes das plantas podem promover a agregação pela liberação de material que pode diretamente estabilizar as partículas do solo, ou pelo favorecimento da atividade microbiana na rizosfera que afetam a estrutura do solo.

Grande proporção do carbono fixado pelas plantas é distribuído no solo, e assim, em muitos ecossistemas, as raízes das plantas constituem a principal fonte de matéria orgânica e tem efeito predominante nas mudanças na estrutura do solo. GALE et al. (2000b), num experimento simulando o plantio direto, concluíram que os resíduos derivados das raízes tiveram um importante papel na estabilização de macroagregados, enfatizando o importante potencial das raízes de plantas e exsudados radiculares na formação e estabilização de

macroagregados. CRUZ et al. (2003) relacionaram a maior eficiência na agregação do solo de campo nativo (0,10 - 0,20 m de profundidade) de que em cultivo convencional e plantio direto, à maior densidade de raízes neste sistema. Também segundo KÖNIG et al. (2004), a implantação do povoamento de *Pinus taeda* tende a contribuir na melhoria na estruturação do solo, pela intensa atividade de seu sistema radicular e acúmulo de matéria orgânica.

Os ciclos de umedecimento e secagem também influenciam na formação e fragmentação de agregados, e a cobertura vegetal influencia na magnitude, frequência e efeito desses ciclos na agregação (MATERECHERA et al., 1992).

A alteração na temperatura do solo, com a mudança da cobertura vegetal, também modifica o estado de agregação, uma vez que altera o comportamento dos agentes cimentantes do solo (PINTO, 1980).

#### **2.3.4. Uso e manejo do solo**

O solo pode ter diversos usos, e cada uso pode envolver práticas de manejo diferentes. O manejo do solo, água e planta influenciam na estrutura do solo por controlar a forma e quantidade da entrada de carbono no solo e sua distribuição espacial no solo. Estas práticas também influenciam nos macro e microorganismos do solo e na taxa de mineralização de carbono.

A natureza da cobertura do solo proveniente das plantas, ou resíduos das culturas influencia na estrutura mediante sua influência no impacto das gotas de chuva, no conteúdo de água do solo e na taxa de umedecimento. A natureza dos sistemas radiculares das culturas pode influenciar na profundidade de extração de água, e com isso, influenciar na profundidade em que a contração do solo pode ocorrer. Paralelamente, macroporos podem ser criados pelo cultivo e destruídos pelo tráfego de máquinas (KAY & ANGERS, 1999).

Os efeitos benéficos das forrageiras perenes na agregação do solo são bem conhecidos. Vários estudos têm demonstrado que a estabilidade dos agregados em água tem aumentado rapidamente quando solos cultivados são substituídos por forrageiras perenes, sendo a estabilidade máxima obtida após 3 a

5 anos (ANGERS, 1992). PULLEMAN et al. (2003) afirmam que comparado com solos cultivados, solos sobre pastagem permanente apresentam menores perdas de matéria orgânica e de estrutura do solo.

PORTUGAL et al. (2003), comparando diferentes sistemas de uso, observaram que nos sistemas onde a ação antrópica foi maior houve a tendência de melhora das condições químicas e piora nas condições físicas em relação ao ambiente de referência (mata).

O impacto do cultivo na estrutura do solo depende do tipo de equipamento usado, da forma da estrutura inicial, do conteúdo de água e do tempo e frequência de cultivo. Em curto prazo, o cultivo do solo pode resultar em decréscimo da densidade e conseqüente aumento na porosidade total nas camadas de solo cultivadas. Grandes poros podem ser criados pelo crescimento das raízes, porém, o cultivo pode romper a continuidade do sistema de poros criados pelas raízes e atividade da fauna na superfície do solo (BALL, 1981).

Os efeitos da ausência de cultivo na porosidade total comparado com solos arados pode ser positivo, negativo ou ausente, sendo que o mais importante é que solos menos cultivados freqüentemente apresentam maior continuidade de poros, o que favorece a condutividade hidráulica.

Práticas de cultivo também influenciam fortemente na agregação do solo e na estabilidade estrutural. Vários estudos têm demonstrado que solos com menos intensidade de práticas culturais tem apresentado agregados maiores e mais estáveis. (BEARE et al. 1994; PORTUGAL et al., 2004).

### **2.3.5. Fauna do solo**

A fauna do solo consiste de um largo grupo de animais que passam toda ou parte de suas vidas no solo, e em muitas situações tem efeito significativo na estrutura e propriedades funcionais do solo. Entre a fauna do solo, as minhocas são os mais reconhecidos e, juntamente com as formigas e os térmitas, tem o efeito mais significativo na estrutura do solo e em suas funções (LEE & FOSTER, 1991; HENDRIX, 1999). A fauna do solo influencia os processos químicos, físicos

e biológicos do solo de várias maneiras (HOLE, 1981), mas seus efeitos na estrutura do solo são mais prováveis devido a sua movimentação no solo e atividades de alimentação e excreção.

As minhocas ingerem grande parte dos resíduos de plantas e solo, e assim influenciam na estrutura do solo, na dinâmica da matéria orgânica e na estabilidade e distribuição de agregados, que são importantes indicadores da qualidade do solo (SIX et al., 2000b; SAGGAR et al., 2001). Também, as minhocas promovem a formação de uma estrutura biogênica no solo (PULLEMAN et al., 2003). Segundo JONGMANS et al., (2003), a qualidade da macro e microestrutura do solo, o grau de compactação e a dinâmica da matéria orgânica do solo foram fortemente influenciados pela ocorrência de minhocas.

A estrutura do solo é afetada pelas minhocas principalmente pela produção de “casts” que podem formar agregados estáveis no solo, e pela formação de orifícios que produzem macroporos e, assim, podem aumentar a infiltração de água e a aeração no solo. “Casts” são formadas pela ingestão de partículas minerais e orgânicas, misturadas, enriquecidas organicamente e estimuladas microbiologicamente no intestino das minhocas, e pela excreção desse material, que endurece e forma agregados estáveis (HENDRIX, 1999).

Os bioporos formados pelas minhocas são relativamente estáveis, embora esse possa não ser o caso de solos expansíveis, em que a pressão lateral pode ser alta. DEXTER (1978) mostrou que o solo em volta das paredes dos orifícios não foi compactado, e conclui que as minhocas contribuem mais para formação de poros por ingestão de solo do que pela sua compressão.

Agregados criados na presença de minhocas são geralmente mais estáveis que do que aqueles criados na sua ausência, e o tamanho dos agregados formados depende do tamanho das minhocas (BLANCHART et al., 1997).

Segundo LEE & FOSTER (1991), térmitas e formigas vivem em colônias, e desse modo seu efeito na porosidade é concentrado em áreas discretas, embora a população dos térmitas e de formigas seja bastante alta no solo. Por outro lado MANDO & MIEDENA (1997) observam a participação dos térmitas na gênese da microestrutura e na modificação das características do ciclo hidrológico do solo.

Também Schaefer (2001) afirma que os térmitas apresentam fundamental importância na gênese da microestrutura granular dos Latossolos.

### **2.3.6. Microrganismos**

Os processos físicos do solo, como a agregação, podem ser marcadamente influenciados pela comunidade microbiana do solo (BOSSUYT et al., 2001). A atividade de microrganismos, especialmente fungos, exerce papel chave na formação e estabilização de agregados em muitos solos (GUGGENBERGER et al 1999).

As evidências do envolvimento de microrganismos na formação de agregados no solo e em sua estabilização vêm dos seus efeitos na matéria orgânica adicionada no solo, já que a mesma tem pouco ou nenhum efeito sem a presença dos microrganismos (LYNCH & BRANG, 1985). Há vários mecanismos pelos quais os microrganismos são envolvidos na estabilização da estrutura do solo: primeiro, por diretamente prover mecanismos de ligação entre as partículas do solo; segundo por produzir materiais cimentantes durante a decomposição de materiais orgânicos; e também microrganismos podem servir como substrato para um crescimento microbiano (HARRIS et al., 1966; KAY & ANGERS, 1999).

Acredita-se que os fungos seja o grupo mais eficiente dos microrganismos do solo em termos de agregação do solo. Segundo TISDALL & OADES (1982), a colonização com fungos tem grande importância na agregação do solo, e são considerados agentes de ligação temporários. As hifas dos fungos ramificam por todo o solo e ligam as partículas do solo contribuindo para a formação de agregados (DORIOZ et al., 1993; OADES, 1993), além de produzirem polissacarídeos e outras proteínas e compostos lipídicos que promovem a estabilização dos agregados (BEARE et al., 1997). Segundo JASTROW et al. (1998), os fungos representam a mais importante influência biótica na agregação do solo.

DEGENS et al. (1994) comentam que o comprimento de hifas, a biomassa microbiana, raízes e carboidratos têm papel na estabilização dos agregados, principalmente macroagregados.

As bactérias, por causa do seu tamanho, não atuam diretamente ligando as partículas do solo, sendo sua participação por meio de produtos de sua atividade, como polissacarídeos extracelulares, que tem importante papel na estabilização dos agregados do solo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Histórico**

##### **3.1.1 Histórico do município**

Os primeiros habitantes do município de Visconde do Rio Branco, antigo São João Batista do Presídio, foram os índios Coroados, Coropós e Puris, procedentes da orla marítima fluminense, os quais temendo ataque da tribo Tamoio foram obrigados a deixar suas terras, aldeando-se nas proximidades dos córregos Bagres e Chopotó. Esses índios se dedicavam principalmente à caça e a pesca, mas também cultivavam milho, fumo, batata-doce e mandioca para seu sustento (FERREIRA, 1959).

Na segunda metade do século XVIII, comerciantes e agricultores, procedentes de terras distantes, principalmente das decadentes terras de mineração como Mariana, Ouro Preto e litoral fluminense, chegaram à região com suas famílias e escravos e ali ficaram, com seus sítios e culturas de subsistência, produzindo arroz, raízes, tubérculos, frutas e pequenos animais.

Com a chegada desses novos habitantes houve o desbravamento das matas da região, crescendo assim a população, o que levou a cidade de São João Batista do Presídio (Visconde do Rio Branco) a tomar ares de lugarejo movimentado, para onde se dirigiam os comerciantes de poaia, (planta medicinal muito procurada e abundante na região) a qual era extraída pelos índios e trocada por aguardente. Esta planta juntamente com agricultura e comércio constituíam as principais atividades de região (FERREIRA, 1959).

No final do século XVIII foi introduzida a cana de açúcar na região, fazendo surgir às primeiras lavouras organizadas. Em fevereiro de 1880 chegou à estrada de ferro, que trouxe consigo o aumento da população com a vinda de famílias

inteiras e fazendeiros que buscavam trabalho, comprando terras e originando então as grandes fazendas do café e cereais na região de Visconde do Rio Branco (FERREIRA, 1959).

Logo após a cana foi gradativamente tomando o espaço de outras culturas, com isso logo surgiu a idéia da instalação de uma usina açucareira, aos moldes da usina de Campos, cidade com a qual era mantido contato através da estrada de ferro. Por apresentar uma estrutura fundiária constituída basicamente por minifúndios, grande parte da produção de cana da usina era fornecida por pequenos proprietários (JOSÉ, 1982).

Este período de ascensão da atividade canavieira da região perdurou durante quase todo o século XIX, mas a partir da década de 90 um período de crise assolou a região levando à falência da usina, provocando uma grande queda da área plantada com cana. Devido à crise do setor canavieiro, os produtores se viram obrigados a mudar de atividade, onde grande parte destes, por falta de orientação técnica e pela maior facilidade de implantação, preferiu partir para o setor da pecuária (SEBRAE, 2001). Neste mesmo período, uma pequena parcela dos agricultores optou por desenvolver atividades voltadas à fruticultura.

### **3.1.2. Histórico da área**

O trabalho foi realizado em duas propriedades do município. Foram separados quatro ambientes distintos, com usos diferentes, sendo eles seringueira (6 ha), laranjeira (52 ha), pastagem degradada (15 ha) e mata natural (5 ha), sendo o último utilizado como referência.

Nos ambientes com seringueira e pastagem o solo se encontrava sob este uso a mais de 15 anos, enquanto no ambiente com laranjeira, há 6 anos.

Anteriormente os ambientes com pastagem, seringueira e laranjeira foram ocupadas por cana-de-açúcar, há aproximadamente 100 anos, segundo entrevista com os proprietários, e seguindo a influência histórica da atividade canavieira no município. Embora não seja a vegetação original (mata Atlântica), o ambiente com mata não sofreu alterações antrópicas durante o período de ocupação com a

atividade canvieira, servindo, portanto, como referência para as características avaliadas.

O uso intensivo do solo com a atividade canvieira anteriormente levou a uma grande degradação do mesmo devido à intensa utilização do solo com essa cultura, e às práticas de manejo adotadas. Era comum a prática de queimadas, que favorece a saída de nutrientes do sistema e deixa o solo mais exposto, favorecendo o escoamento superficial, além do revolvimento do solo, que intensifica os processos de mineralização do carbono. Também se tinha pouca preocupação com práticas conservacionistas. Assim, com as práticas de manejo adotadas, juntamente com o relevo acidentado, houve uma potencialização dos processos erosivos, provocando grandes perdas de solo por erosão laminar, chegando a ocasionar a exposição do horizonte B.

No ambiente com pastagem, observa-se níveis avançados de degradação do solo, que estão associados às feições do relevo e ao manejo inadequado da pastagem, como a utilização de pastoreio sem pousio, a falta de controle da lotação do pasto (superpastejo) e ocorrência de queimadas. Não se utiliza corretivos químicos nesse ambiente.

Pelo menor aporte de material vegetal, com menor entrada de carbono no solo, e conseqüente menor potencial de proteção e recuperação da estrutura do solo, o ambiente com pastagem representa mais fielmente a condição do solo após o uso com a cana-de-açúcar, de forma que será utilizado como representante da cana para avaliar a resiliência da estrutura do solo. Não obstante o solo no ambiente com pastagem apresentar condições químicas diferentes (Quadro 2), possivelmente pela influência local de material anfibolítico, as comparações físicas neste solo se procedem.

No ambiente com laranjeira as práticas de condução da cultura levam a preservar melhor as condições estruturais do solo, com o menor número possível de intervenções mecânicas, procurando a conservação de resíduos vegetais em superfície, a fim de promover uma maior proteção do solo e minimizar as suas perdas por erosão. Na implantação, foi realizada correção do solo (calagem) somente na cova, e colocado em torno de 10 litros de esterco de curral por cova e

400 gramas de superfosfato simples. Não foi realizado práticas de aração e gradagem na área, e utilizou-se o espaçamento de 7 x 4 m.

O controle de plantas espontâneas é feito utilizando herbicida pós-emergente (Glifosato) na linha do plantio (4 litros por ha), e nas entrelinhas, utiliza-se roçadeira tratorizada, três vezes ao ano.

A adubação do pomar é realizada mediante análises do solo, e além destas, utilizam-se estimativas calculadas mediante os dados de produção, de modo a se ter uma estimativa dos cálculos da quantidade de nutrientes que foi exportada pela cultura, tanto na fase vegetativa quanto na produtiva. Os corretivos utilizados são o calcário dolomítico, aplicado em julho e sem incorporação, para correção da acidez, segundo análise de solo; superfosfato simples (250 gramas planta/ano, colocados de uma só vez); sulfato de amônio e cloreto de potássio (2 Kg de 15-0-15 (N-P-K) planta/ano, aplicados em 3 vezes ao ano). Realizam-se a aplicação foliar de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , Zn, Mn e B três vezes por ano. Quando possível aplica-se esterco de curral (20 litros/planta). A produção é de 30 toneladas de laranja/ha/ano.

No ambiente com seringueira não é realizada a correção e fertilização do solo, bem como não se tem o tráfego de máquinas ou práticas que revolvam o solo, podendo-se observar uma considerável camada de resíduos vegetais depositada sobre o solo. No plantio foi utilizado termofosfato (400 gramas/cova) e torta de filtro de usina de cana-de-açúcar (5 litros/cova). Foi realizada a correção do solo (calagem) somente na cova. O espaçamento é de 8 x 2,5m (500 plantas/ha). Utiliza-se aproximadamente 300 gramas de fungicida ha/ano. A produção é de 200 Kg/ha/mês de borracha prensada.

### **3.2. Localização, clima e solo**

A área escolhida para o estudo esta localizada no município de Visconde do Rio Branco, na Zona da Mata do estado de Minas Gerais. O centro da cidade está nas coordenadas 21°00`40"de latitude sul e 42°50`20" de longitude W.Gr., e o município possui uma área de 240,51 km<sup>2</sup>. A temperatura média anual é de 23,9°

C, apresentando, também, temperatura média máxima e mínima de 31,9°C e 16°C, respectivamente. O índice pluviométrico anual no município é de 1100 mm, com as chuvas concentradas no período de outubro a março (FERREIRA, 1959; SEBRAE, 2001), apresentando, de acordo com a classificação climática de Köppen, clima Cwa.

Seu território possui relevo ondulado a forte ondulado com altitude média de 350 m e pertence ao Domínio dos Mares de Morros (AB'SABER, 1996), que corresponde, principalmente, às regiões serranas da bacia do Paraíba do Sul e do vale do Rio Doce, e regiões adjacentes. Neste ambiente, em geral, os solos são eutróficos ou distróficos, raramente álicos (REZENDE & RESENDE, 1996), predominando Argissolos e Latossolos.

A região apresenta três ambientes distintos, sendo eles: topos de morros, encostas (côncavas, convexas e íngremes) e terraços fluviais com predomínio de propriedades de tamanho reduzido (minifúndios). Na área de estudo o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico.

### **3.3. Amostragem e coleta**

A amostragem foi realizada no mês de julho, em 2004. Os quatro ambientes avaliados estavam em posições topográficas semelhantes, situados na encosta, sendo que o ambiente com pastagem degradada apresenta-se em um segmento diferente na paisagem. A amostragem em cada ambiente foi sucedida por coletas realizadas no perfil do solo, em trincheiras (três repetições) com dimensões de aproximadamente 40 x 40 cm, nas profundidades de 0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm. As trincheiras eram espaçadas uma da outra aproximadamente 5 m, dispostas lado a lado, sempre na mesma posição no relevo dentro de cada ambiente. Para os ambientes com seringueira e laranjeira, as trincheiras foram localizadas na área de copa das referidas culturas.

Em cada trincheira foram coletadas três unidades amostrais em cada profundidade para a realização de análises com amostras indeformadas. Amostras (indeformadas) destinadas às análises de densidade, macro e microporosidade

foram coletadas em anel de aço inox com aproximadamente cinco centímetros de altura por cinco centímetros de diâmetro.

Para avaliação de estabilidade de agregados via úmida foram coletadas duas amostras indeformadas de 54 cm<sup>3</sup> em cada profundidade de cada trincheira, totalizando 6 amostras por profundidade dentro de cada ambiente.

Para a análise micromorfológica foram coletadas amostras indeformadas na superfície de cada ambiente, nas profundidades de 0 a 10 cm, utilizando-se saboneteiras.

Foram coletadas também amostras deformadas de solo nas três profundidades de cada trincheira. As amostras de solo foram secas ao ar antes de serem submetidas a qualquer tratamento ou análise, e foram passadas em peneira de 2 mm de malha, constituindo-se a TFSA (Terra Fina Seca ao Ar) para posteriores análises laboratoriais.

### **3.4. Características avaliadas**

#### **3.4.1. Atributos físicos do solo**

##### **3.4.1.1. Densidade do solo**

Utilizou-se a metodologia descrita por EMBRAPA (1997), que consiste no uso de anéis volumétricos de volume conhecido. A densidade do solo foi então obtida pela razão entre a massa da amostra seca a 105 a 110° C e o volume do cilindro.

##### **3.4.1.2. Densidade de partículas**

Para densidade de partículas, adotou-se o método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997), utilizando-se das mesmas amostras coletadas para o estudo da densidade do solo.

#### **3.4.1.3. Porosidade total**

O volume total de poros (Pt) foi calculado usando os valores da densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp), por meio da equação:

$$Pt = 100 \cdot (Dp - Ds) \cdot Dp^{-1}$$

#### **3.4.1.4. Macro e microporosidade do solo**

O método utilizado foi descrito por GROHMANN (1960), usando mesa de tensão. As determinações foram realizadas em amostras com estrutura indeformada, empregando 60 cm de altura de água para medir a porosidade capilar (microporosidade) e a não capilar (macroporosidade). A percentagem de água retida nas amostras, após equilíbrio, corresponde a microporosidade do solo, e a macroporosidade foi dada pela diferença entre a porosidade total e a capilar.

#### **3.4.1.5. Análise textural**

A análise textural foi feita segundo método da pipeta, descrito por EMBRAPA (1997). A dispersão mecânica utilizada foi a agitação lenta por 16 h, a 50 rpm. A dispersão química foi por meio do NaOH 0,1 mol/L e 150 ml de água deionizada.

#### **3.4.1.6. Argila dispersa em água**

A argila dispersa em água foi determinada pelo método da pipeta, com dispersão mecânica, utilizando-se a agitação rápida por 10 minutos, a 12.000 rpm, como descrito por EMBRAPA (1997).

#### **3.4.1.7. Grau de dispersão e grau de flocação**

Para o cálculo do grau de dispersão e grau de flocação do solo, foram utilizadas as equações seguintes:

$$\text{Grau de dispersão} = (\text{Argila Dispersa em Água(ADA)} / \text{Argila total}).100$$

$$\text{Grau de flocação} = (\text{Argila Total} - \text{ADA} / \text{Argila Total}).100$$

#### **3.4.1.8. Equivalente de umidade**

O equivalente de umidade foi determinado por centrifugação das amostras de solo, aplicando-se nestas uma força centrífuga correspondente a 1.000 vezes a força da gravidade, por 30 minutos.

#### **3.4.1.9. Estabilidade e distribuição de agregados**

Para a realização da estabilidade e distribuição de agregados foi proposta uma forma de amostragem diferente da usual, com o objetivo de se ter uma melhor representação da estrutura do solo. Assim, foi proposta a utilização de amostras indeformadas, coletadas em pequenas caixas de metal com tamanho que permitiam ser processadas pelo aparelho Yoder.

Para tanto, foi realizado um pequeno experimento utilizando o solo de um horizonte A de mata. Os tratamentos avaliados foram: T1 – amostras coletadas em caixa de metal com volume de 72 cm<sup>3</sup>; T2 – com volume de 108 cm<sup>3</sup>, T3 – com volume de 54 cm<sup>3</sup> e T4 – amostras passadas na peneira de 4 mm e retidos em 2 mm (método padrão utilizado para comparação). Os tratamentos 1, 2 e 3 foram mantidos com a mesma umidade, e o T4 as amostras foram secas ao ar. Foram utilizadas 8 repetições, sendo que as amostras foram umedecidas com atomizador e deixadas em repouso por 2 horas. Realizou-se o peneiramento em água durante

15 minutos, para separar os agregados em classes. Foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e analisadas as estatísticas média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança entre as classes e tratamentos. Por meio dessas estatísticas pode-se notar que os tratamentos se diferenciaram pouco. Por outro lado, os valores de DMP e DMG para o tratamento T4 (método padrão) foram maiores que para os demais tratamentos, indicando que o peneiramento realizado neste solo pode interferir nos resultados, pré-selecionando agregados mais estáveis, o que levaria a resultados que não refletiriam as verdadeiras condições estruturais do solo. Assim, por representar melhor as condições estruturais do solo e pela maior facilidade operacional, optou-se por trabalhar com amostras indeformadas com volume de  $54 \text{ cm}^3$  (T3).

Assim, para avaliar a estabilidade e distribuição de agregados via úmida foram coletadas amostras indeformadas, que posteriormente foram acondicionadas em sacos plásticos com cuidados para não deformar os agregados da amostra. As amostras foram levadas para uma câmara com umidade controlada para manutenção da umidade. Adotou-se a técnica descrita por KEMPER & CHEPIL (1965) que separa os agregados em função de seus diâmetros, usando um jogo de peneiras de diversas malhas para a obtenção das classes de agregados.

O método de agitação foi em jogo de peneiras adaptado a um dispositivo mecânico que apresenta um movimento de oscilações vertical dentro de um recipiente com água. Os agregados foram separados nos seguintes intervalos de diâmetros: menor que 0,105 mm; 0,105 a 0,250 mm; 0,250 a 0,50 mm; 0,50 a 1,00 mm; 1,00 a 2,00 mm e maior que 2,00 mm. Após 15 minutos de oscilações imersos em água, o conteúdo de cada peneira foi separado, seco em estufa a  $105^\circ\text{C}$  e pesado. A classe menor que 0,105 mm foi calculada por diferença e se precedeu à correção do peso inicial, através da determinação da umidade residual base gravimétrica para cada profundidade, para então se obter a proporção de agregados de cada uma das seis classes.

### **3.4.2. Atributos químicos do solo**

Na análise química de rotina foram determinados pH em água (1:2,5), P, K e Na (Mehlich-1),  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (KCl, 1 mol/L), H+Al ( $\text{Ca}(\text{OAc})_2$  0,5 mol/L pH 7,0), como descrito por EMBRAPA (1997).

### **3.4.3. Carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica**

O carbono orgânico total foi determinado em triplicatas, utilizando o método descrito por YEOMANS & BREMNER (1988), e o fracionamento das substâncias húmicas foi realizado segundo a técnica do fracionamento diferencial estabelecido pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) descrito por SWIFT et al. (1996), obtendo as seguintes frações: ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (FHN).

A determinação do carbono orgânico das FAF, FAH e FHN foi feita utilizando-se o processo de dicromatometria com aquecimento externo (YEOMANS & BREMNER, 1988).

Para as frações FAF e FAH foram utilizadas alíquotas de cada fração, e para a FHN foi utilizado o material sólido seco em estufa a 50° C.

### **3.4.4. Caracterização mineralógica**

Foi feita uma caracterização mineralógica na profundidade de 0 a 10 cm do solo sob a mata, sendo a fração argila submetida a análise mineralógica por meio da difratometria de raios-X (WHITTHING & ALLARDICE, 1986).

### **3.4.5. Morfologia de agregados**

As análises de morfologia de agregados foram procedidas com os agregados provenientes da análise da estabilidade e distribuição de agregados via úmida, secos em estufa a 105 ° C, que permaneceram nas classes maiores que 2,00 mm e de 1 a 2 mm, para as profundidades avaliadas. Para a classe > 2,00

mm os agregados foram passado na peneira de 4 mm e retido na de 2 mm. Realizou-se a obtenção de imagens do agregados com o uso de um scanner e o posterior processamento dessas imagens pelo programa QUANTPORO (VIANA & FERNANDES FILHO, 2001). Uma amostra de aproximadamente 400 agregados de cada classe, ambiente e profundidade foi organizada sobre uma transparência e colocada sobre o scanner, tomando o cuidado para que os agregados não se tocassem. Para o estudo, utilizou-se uma resolução do scanner de 1.200 dpi para análise dos agregados. Na preparação das imagens para posterior análise, utilizou-se o sistema de cores RGB, onde as cores são formadas a partir da combinação dos comprimentos de onda vermelho, verde e azul. Segundo VIANA & FERNANDES FILHO (2001), estas cores são combinadas para produzir a imagem colorida, e a informação contida em cada pixel é composta pelos valores relativos destas. Depois de obtida a imagem RGB, passou-se a trabalhar as mesmas no programa Adobe Photoshop 7.0, onde foi feita uma filtragem mediante filtro de mediana que opera substituindo os valores de cada pixel pelo valor da mediana dos pixels da vizinhança, reduzindo os pixels isolados que ocasionam distorções. Seguindo, as imagens foram convertidas em sua forma binária, ou seja, constituída apenas pelas cores branco e preta, por meio do comando threshold do referido. Ainda, foi realizada uma avaliação visual de cada imagem, eliminando os agregados que se tocavam e ruídos que poderiam ocasionar erros.

Posteriormente as imagens foram processadas pelo QUANTPORO. As características analisadas de cada agregado foram: Área, comprimento do maior e do menor eixo, grau de arredondamento e alongamento, as quais estão explicadas a seguir:

- Área: é a medida do objeto com o número de pixels no polígono.
- Grau de arredondamento: disponibiliza o resultado entre 0 e 1, e, quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento, sendo que o valor 1 o objeto é perfeitamente redondo, e a medida que a relação decresce, vai perdendo esta

característica. É calculado pela fórmula:  $(4 \times \pi \times \text{área})/\text{perímetro}^2$ .

- Comprimento do maior eixo: o comprimento de uma linha que pode ser traçada através do maior eixo que corte o agregado.
- Comprimento do menor eixo: o comprimento de uma linha que pode ser traçada perpendicularmente ao maior eixo que corte o agregado.
- Alongamento: é a relação entre o comprimento do menor eixo e o comprimento do maior eixo. O resultado é um valor entre 0 e 1. Se o valor for 1, o objeto é aproximadamente circular ou quadrado. À medida que o valor decresce de 1 o objeto vai se tornando cada vez mais alongado.

#### **3.4.6. Análise micromorfológica**

Para a realização das análises micromorfológicas as amostras indeformadas coletadas em cada ambiente foram impregnadas com resina de poliéster, e cortadas e confeccionadas lâminas polidas (seções-finas). Posteriormente realizou-se a análise em microscópio petrográfico. As lâminas foram descritas conforme as recomendações de FITZPATRICK (1993) com ênfase na microestrutura, observações sobre feições micropedológicas, atividade biológica, e dimensões e tipos de poros e agregados, além da determinação da porosidade micromorfométrica por meio do programa QUANTPORO.

#### **3.4.7. Análise estatística**

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) em que os tratamentos foram constituídos pelos diferentes usos adotados, considerando-se o delineamento inteiramente casualizado.

Os graus de liberdade para o tratamento foram decompostos em 4 contrastes ortogonais entre si, dentro de cada profundidade, conforme Quadro 1. A significância dos contrastes foi testada pelo teste F ( $P < 0,05$ ) com base no quadrado médio do resíduo.

Quadro 1. Nome, coeficiente e efeitos dos contrastes estabelecidos.

Nome	Tratamentos <sup>(1)</sup>				Efeitos do contraste
	Mt	Sr	Lr	Pt	
C1	1	0	0	-1	Uso antrópico
C2	0	1	1	-2	Resiliência
C3	0	1	0	-1	Seringueira
C4	0	0	1	-1	Laranjeira

(1) Mt – Mata; Sr – Seringueira; Lr – Laranjeira; Pt – Pastagem.

O efeito do uso antrópico no solo (contraste C1) estabeleceu uma comparação entre o ambiente com mata e o ambiente com pastagem, por ser esse último o representante mais fiel das condições do solo após o uso com a cana, onde se procura observar o efeito do uso antrópico nas características avaliadas do solo.

O efeito de resiliência (contraste C2) compara o ambiente de pastagem com os demais ambientes (seringueira e laranjeira), visando verificar o grau de recuperação da estrutura com os usos de seringueira e laranjeira, após o uso com a cana-de-açúcar.

Os efeitos seringueira e laranjeira (contraste C3 e C4, respectivamente), foram estabelecidos para verificar o potencial de recuperação de cada um desses ambientes.

## **4. RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **4.1. Caracterização do solo**

Foi realizada uma caracterização do solo estudado, com relação as suas condições químicas, a sua estrutura macroscópica descrita no campo e sua mineralogia, buscando associar estas características com a agregação e estruturação do solo dentro de cada ambiente, bem como verificar a influência dessas características na sua estrutura.

#### **4.1.1. Caracterização química do solo**

A classificação dos atributos químicos avaliados foi feita conforme TOMÉ Jr. (1997), e se encontram no Quadro 2.

As características químicas do solo estudado permitem fazer algumas inferências sobre suas limitações e verificar efeitos provocados pelos diferentes usos do solo.

O pH em água apresentou grau de acidez elevada para ambientes de mata, seringueira e laranjeira, nas três profundidades avaliadas, enquanto a pastagem degradada apresentou acidez média para todas as profundidades. O P-disponível apresentou níveis baixos para todos os ambientes, com maior valor na laranjeira, possivelmente pelos adubos aí empregados. Da mesma forma o  $K^+$  mostrou níveis baixos para todos os ambientes, com exceção do ambiente com laranjeira, onde foi classificado como alto na profundidade de 0 a 10 cm, e médio para 10 a 20 e 20 a 30 cm. Assim, os valores mais elevados de  $K^+$  e P para o ambiente com laranjeira são explicados pela utilização de adubos N-P-K nesse ambiente.

Quadro 2. Características químicas do solo sob mata e diferentes usos agrícolas para as diferentes profundidades.

Usos	pH	P	K <sup>+</sup>	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	H <sub>2</sub> O	-----mg/dm <sup>3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----		
0 a 10 cm							
Mata	4,31	1,70	41,0	1,30	0,31	0,34	1,44
Seringueira	4,42	1,23	28,3	1,63	0,22	0,51	1,98
Laranjeira	4,34	2,67	88,7	1,97	0,56	0,53	1,99
Pastagem	5,62	1,03	22,7	0,30	1,48	1,18	0,00
10 a 20 cm							
Mata	4,39	0,90	23,0	0,63	0,00	0,16	1,37
Seringueira	4,43	0,47	24,0	0,97	0,00	0,10	2,37
Laranjeira	3,99	1,20	48,7	0,43	0,02	0,17	1,67
Pastagem	5,33	0,83	20,7	1,63	0,91	0,52	0,07
20 a 30 cm							
Mata	4,46	0,57	18,7	0,30	0,00	0,11	1,28
Seringueira	4,42	1,07	16,7	0,30	0,00	0,07	2,53
Laranjeira	4,03	0,60	46,0	0,10	0,08	0,20	1,57
Pastagem	5,34	0,20	7,3	0,30	0,84	0,31	0,00

Cont...

Usos	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	ISNa
	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----			-----%-----			
0 a 10 cm							
Mata	7,40	0,77	2,21	8,17	9,10	66,7	0,26
Seringueira	7,10	0,81	2,79	7,94	10,00	71,00	0,26
Laranjeira	6,70	1,33	3,32	8,00	16,70	61,40	0,34
Pastagem	3,40	2,72	2,72	6,12	44,10	0,00	0,05
10 a 20 cm							
Mata	5,50	0,22	1,59	5,69	3,80	86,10	0,19
Seringueira	6,50	0,17	2,54	6,64	2,60	93,20	0,17
Laranjeira	6,40	0,32	1,99	6,69	4,80	83,70	0,10
Pastagem	3,40	1,49	1,56	4,92	60,20	4,40	0,45
20 a 30 cm							
Mata	4,70	0,16	1,44	4,83	3,30	88,80	0,09
Seringueira	6,60	0,11	2,64	6,68	1,70	95,80	0,05
Laranjeira	5,50	0,40	1,97	5,94	7,20	61,40	0,03
Pastagem	3,00	1,17	1,17	4,17	31,30	0,00	0,11

O Ca<sup>2+</sup> apresentou valores classificados como baixos em todos os ambientes e profundidade avaliadas, sendo os maiores valores encontrados na pastagem degradada. O Mg<sup>2+</sup> foi classificado com valores de baixo (mata) a alto

(pastagem) na profundidade de 0 a 10 cm. Nas demais profundidades ele foi classificado como baixo para todos os ambientes, com exceção da pastagem, na profundidade de 10 a 20 cm, onde apresentou valor médio. Os maiores valores para  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no ambiente com pastagem degradada devem estar associados a um material de origem diferenciado, mais rico nesses nutrientes (possivelmente um material mais anfíbolítico).

No solo com laranjeira, embora receba adubações e calagem, não foi observado, de maneira geral, uma condição química marcadamente melhor, o que possivelmente está associado a maior exportação de nutrientes via colheita neste ambiente.

Os valores de  $\text{Al}^{3+}$  são altos para os solos com seringueira e laranjeira, médios para o solo com mata, e baixo para ambiente com pastagem degradada, para todas as profundidades avaliadas. Os valores baixos desse elemento na pastagem podem ser explicados pelo maior valor de pH apresentado nesse ambiente, o que faz com que o  $\text{Al}^{3+}$  precipite.

De maneira geral os quatro solos avaliados apresentam baixos níveis de fertilidade e caráter distrófico, com os teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável dominando o complexo de troca, com exceção da pastagem, onde não se tem a presença deste elemento na solução do solo.

No que concerne à estrutura do solo, as condições químicas do meio podem influenciar na estrutura formada no solo, uma vez que a floculação, condição essencial ao desenvolvimento da estrutura, é determinada pela concentração de eletrólitos em solução e o tipo de cátion saturando o colóide.

Nos solos com mata, seringueira de laranjeira nota-se maiores valores de  $\text{Al}^{3+}$  no complexo de troca, chamando a atenção para o ambiente com seringueira nas profundidades de 10 a 20 e 20 a 30 cm, onde há um aumento significativo no valor desse elemento. Nesses solos o  $\text{Al}^{3+}$  possivelmente está favorecendo formação de agregados, funcionando como ponte de ligação entre argilas e partículas orgânicas, formando microagregados. Já no solo com pastagem, onde o  $\text{Al}^{3+}$  está precipitado, o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , devem estar funcionando como ponte de ligação entre as argilas e partículas orgânicas.

Segundo BRONICK & LAL (2005), os cátions bivalentes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  melhoram a estrutura do solo através das ligações com as partículas de argila e matéria orgânica do solo, e o cátion  $\text{Al}^{3+}$  através das ligações catiônicas e pela formação de compostos orgânico-metálicos e geis.

Os valores de CTC efetiva (t) não apresentaram grandes variações entre os diferentes solos na profundidade de 0 a 10 cm, porém, nas profundidades de 10 a 20 e 20 a 30 cm, os valores no solo com seringueira foram consideravelmente maiores que nos demais. Isso provavelmente se deve ao elevado teor de carbono orgânico (COT) no ambiente com seringueira (Quadro 5), gerando cargas negativas no solo, especialmente em relação aos demais usos agrícolas. Incrementos nos valores de t, acompanhando as variações do COT também foram obtidos por MENDONÇA & ROWELL (1996).

#### **4.1.2. Macroestrutura do solo**

Pode-se verificar que a estrutura macroscópica dos solos avaliados apresenta ampla variação, compreendendo estrutura em blocos pequenos a grande subangulares, de grau forte, a moderada e fraca, que se desfazem em estrutura média e pequena granular, com grau de desenvolvimento variando de fraco a forte (Quadro 3).

A forma, o tamanho e a estabilidade da estrutura apresentada pelo solo são de grande importância com relação ao uso e ao manejo destinado a esse solo. A estabilidade da estrutura é muito importante porque, uma vez que o agregado se quebrar, há o favorecimento de perdas de solo. Assim, em solos com estrutura com grau de desenvolvimento fraca ou mesmo moderada, não se deve adotar usos intensivos, uma vez que com pouco estresse aplicado, a estrutura pode se desfazer e favorecer perdas de solo, especialmente em relevos mais acidentados, como na área em estudo.

Também a forma da estrutura é importante, e deve ser considerada no uso e manejo do solo. Na estrutura em blocos, as superfícies são planas ou ligeiramente curvas, estando em contato com as vizinhas, o que favorece o melhor

arranjo das partículas e, conseqüentemente, o adensamento do solo. Com relação ao maior adensamento do solo pelo arranjo das partículas, além da forma da estrutura, deve-se ainda considerar a heterogeneidade e proporção dos tipos de estrutura que poderão resultar em maior ajuste. Também a forma granular do agregado, por apresentar menos pontos de contatos do que a forma de blocos, favorece o arraste, de forma que solos com estrutura mais esférica tendem a favorecer erosão em sulcos, ao passo que estrutura em blocos favorece a erosão laminar. Assim, pode-se conjecturar que a intensa erosão laminar sofrida pelo solo no período de utilização com a cana-de-açúcar tenha sido favorecida pela presença de estrutura em blocos. Também o tamanho dos agregados é importante, sendo que agregados maiores têm caráter benéfico, e segundo KIEHL (1979), o tamanho dos agregados tem influência direta no crescimento e no sistema radicular das plantas.

Quadro 3. Descrição da macroestrutura dos horizontes pedológicos do solo sob mata e diferentes usos agrícolas.

Horizonte	Prof.(cm)	Descrição da Estrutura
Mata		
A1	0 - 10	Fraca, pequena e média blocos subangulares e forte pequena granular.
Ba	10 - 30	Moderada, média blocos subangulares e forte pequena granular; cerosidade fraca comum.
Bt	30 - 60	Fraca/moderada, média blocos subangulares e forte pequena granular.
Obs: Muitas raízes finas e muito finas 2 cm abaixo da serrapilheira, sendo comuns até 10 cm, e raízes médias em todo o perfil. Presença de raízes grossas (entre 1 e 2 cm) até 60 cm. Abundancia de canais biológicos no horizonte A1 e Ba.		
Seringueira		
Ap	0 - 10	Forte, média e grande blocos subangulares e fraca média granular
Ba	10 - 25	Moderada, pequena e média blocos subangulares e moderada média granular.
Bt	25 - 60	Moderada, pequena e média blocos subangulares e moderada, pequena e média granular; cerosidade fraca, pouca.

---

Continuação

---

Obs: Abundância de raízes pequenas e médias, restos de folhas incorporadas, canais biológicos de cupins, formigas e minhocas, e presença de raízes médias (0,5 a 1 cm) de seringueira no horizonte Ap. No horizonte Ba, tem-se abundância de canais biológicos e raízes de seringueira idem ao Ap, com menores quantidades de raízes finas.

---

Laranjeira

---

Ap	0 - 10	Forte, médio e grande blocos subangulares.
Ba	10 - 25	Forte, pequena a média bloco subangulares e fraca pequena granular; cerosidade fraca, pouca.
Bt	25 - 50	Moderada/forte, média bloco subangulares; cerosidade fraca comum e fraca média granular

---

Obs: Raízes finas abundantes até 5 cm, comum até 25 cm. Raízes médias de laranja concentradas até 25 cm, sendo raras após esta profundidade. Solo úmido em todo o perfil; atividade biológica menor que para seringueira e mata; solo com cobertura de algas e briófitas na superfície, com invasoras (picão, serralha e colônio).

---

Pastagem

---

Ap	0 - 5	Moderada/forte, média blocos subangulares e moderada, média granular.
Ba	5 - 20	Fraca/moderada, média blocos subangulares e moderada/pequena a média granular.
Bt	20 - 40	Moderada/média grande blocos subangulares; cerosidade fraca e comum e fraca média granular.

---

Obs: Solo com selamento superficial causado por erosão laminar nos primeiros 5 cm. Gradiente textural entre Ap e Bt. Cobertura de pastagem de capim-gordura extremamente degradado (estimativa de 40 % de solo exposto) com muitas invasoras. Fraca atividade biológica. Raízes poucas, finas até Ba, raras em Bt.

---

Nos solos submetidos ao uso agrícola foram observadas algumas características na estrutura em blocos bem diferenciados em relação à mata de referência, notando-se o aumento do grau de desenvolvimento e da classe dos agregados nesses ambientes, na camada mais superficial. Nos horizontes subsuperficiais houve menos variações, chamando mais atenção à formação de blocos com maior grau de desenvolvimento no ambiente com laranjeira. Essas modificações são devido ao uso antrópico desse solo, pois a retirada da mata levou a quebra da estrutura original e provocou maior expressão de ciclos de

umedecimento e secagem, que favoreceram a formação de blocos maiores e mais estáveis nos ambientes com o uso agrícola. Segundo MATERECHERA et al. (1992), os ciclos de umedecimento e secagem influenciam na formação e fragmentação de agregados, e a cobertura vegetal influencia na magnitude, frequência e efeito desses ciclos na agregação. VIANA et al. (2004) trabalhando em casa de vegetação, observaram que agregados neoformados a partir de ciclos de umedecimento de secagem apresentaram-se como unidades maiores.

Por outro lado, nota-se que a perturbação antrópica de longo prazo produziu efeitos na estrutura tipo granular primária, provocando menor grau de desenvolvimento. Essa modificação deve ser atribuída em parte ao longo período com cana-de-açúcar, e não deve ser favorável, uma vez que a estrutura granular favorece a penetração de raízes, o movimento da água, o arejamento e a permeabilidade do solo.

No horizonte A do solo ocupado com laranjeira não se verifica a estrutura do tipo granular, sendo presente somente a estrutura do tipo blocos subangulares. A inexistência da estrutura granular deve ser atribuída a intensa degradação dos solos quando sob cana-de-açúcar, com erosão e exposição parcial do horizonte B, onde predomina estrutura em blocos. Deve-se também considerar o menor tempo de utilização com laranjeira (6 anos), em relação aos demais usos (15 anos), de forma que esse tempo pode não ter sido suficiente para que ocorresse a resiliência da estrutura granular nesse ambiente.

A presença de canais biológicos abundantes nos ambientes com mata e seringueira, e moderada no ambiente com laranjeira, indicam ativa formação de estrutura nesses ambientes, com participação de processos biogênicos, ao passo que no ambiente com pastagem degradada, a fraca atividade biológica indica que a estrutura seja marcadamente influenciada por processos físicos, dificultando ou retardando seu retorno à condição natural, primitiva.

Além da maior atividade biológica, também os solos com mata, seringueira e laranjeira se diferenciam do solo com pastagem degradada pela maior presença de raízes no perfil do solo. A maior ocorrência de raízes nesses ambientes pode estar favorecendo a estruturação do solo, pois segundo MOREIRA & SIQUEIRA

(2002), materiais orgânicos liberados pelas raízes e pela população microbiana na rizosfera podem ser eficientes na ligação das partículas de solo, e desse modo, favorecer a estruturação. Também GALE et al. (2000b) concluíram que resíduos de raízes tiveram um importante papel na estabilização de macroagregados, enfatizando o potencial das raízes e exsudatos radiculares na formação e estabilização de macroagregados.

O estágio avançado de degradação do solo com pastagem, com pouca cobertura vegetal, explica a ocorrência do selamento superficial nos primeiros 5 cm, por não conferir uma boa proteção contra as gotas de chuva. Segundo SCHAEFER et al. (2002), o fenômeno de selamento superficial é decorrente da formação de uma camada superficial de maior densidade, pela destruição dos agregados do solo causados pelo impacto das gotas de chuva, dispersão e entupimento de poros.

O grau de reversão da estrutura para as condições de referência (mata) seria seringueira > laranjeira > pastagem degradada.

#### **4.1.3. Caracterização mineralógica**

Com base no difratograma percebe-se que a fração argila do solo avaliado é composta pelos minerais caulinita, traço de gibbsita, hematita e goethita, sendo a caulinita dominante no solo (Figura 1).

A composição mineralógica do solo ajuda a explicar os tipos de estrutura (blocos subangulares e granular) que ocorrem nesse solo. Segundo BAVER (1956), caulinita leva a formação de estrutura do tipo blocos, concordando com o encontrado para esse solo. Sendo a caulinita um mineral com forma laminar, pode-se imaginar que há um favorecimento na formação de uma estrutura em blocos pelo empilhamento de lâminas desse mineral.

Também RESENDE (1990) diz que os óxidos de ferro e alumínio e a matéria orgânica tendem a produzir estrutura granular. O mesmo autor propôs um modelo que os óxidos de ferro e alumínio, notadamente goethita, hematita e gibbsita tendem a desorganizar as partículas ao nível microscópico, levando a

formar estrutura do tipo granular. A ocorrência da estrutura do tipo granular no solo de mata está relacionada não apenas a mineralogia, mas principalmente à ação biogênica e aos aportes de matéria orgânica, já que muitos Latossolos e Argissolos possuem estrutura granular mesmo sendo essencialmente cauliniticos, com baixos teores de óxidos.

Segundo OADES (1993), a formação de poros e outras zonas de fraqueza por processos biológicos podem ser mais importantes em solos de textura média ou com argila de baixa atividade (caulinita), que sofram pouca contração e expansão, de que em solos de textura fina, que são particularmente responsivos ao umedecimento e secagem.

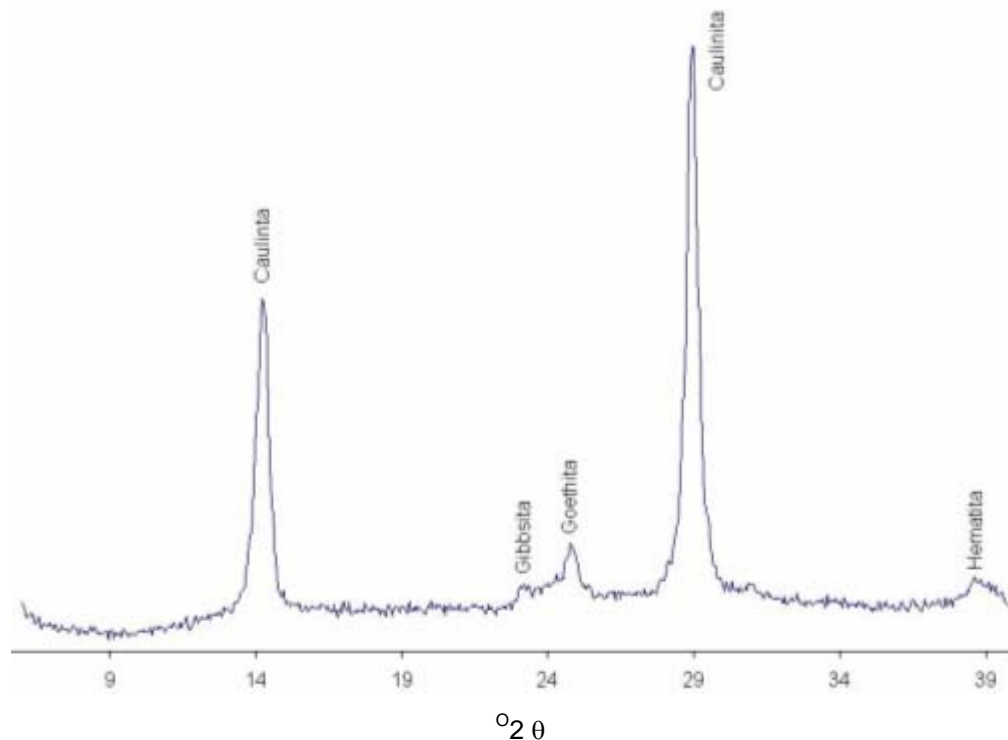


Figura 1. Difratograma com a composição mineralogia da fração argila do solo sob mata.

## **4.2. Textura, argila dispersa em água, grau de dispersão e floculação**

Os valores da análise textural (Quadro 4) permitem classificar estes solos na classe argila, com exceção da pastagem degradada, nas profundidades de 0 a 10 e 20 a 30 cm, onde é classificado como argilo-arenoso e muito argiloso, respectivamente. No caso da pastagem degradada, tal fato deve se relacionar à possível truncamento do perfil, conforme constatado em nível de campo, com possível perda de horizonte A e implantação da pastagem sobre material exposto.

Em todos os solos e em profundidade os teores de silte são baixos, conferindo a esse solo uma baixa relação silte/argila, indicando ser um solo bastante intemperizado. Segundo EMBRAPA (1999), a relação silte/argila serve como base para se ter uma idéia do estágio de intemperismo presente em solos de região tropical. Os teores de areia grossa são sempre maiores que os de areia fina em todos os tratamentos e profundidades. Em geral, nota-se que os teores de areia (grossa e fina) são maiores nos solos com laranjeira e pastagem, o que indica que estes ambientes sofreram maior perda de argilas por erosão e remoção lateral, ou ainda possível iluviação.

Para argila, observa-se que apenas há diferenças no solo com pastagem, que apresenta menor valor na profundidade de 0 a 10 cm e maior valor na profundidade de 20 a 30 cm, indicando processos de argiluviação. Segundo KAY & ANGERS (1999) a magnitude do impacto dos processos de resiliência estrutural, que está relacionada com o tempo, processos biológicos e o manejo, é determinada por características da matriz do solo.

A argila dispersa em água (ADA) não alterou significativamente com a utilização antrópica do solo na profundidade de 0 a 10 cm (contraste C1), mas entre os solos com uso agrícola, a seringueira apresentou valor significativamente maior de argila dispersa em água (contraste C3), o que deve estar associado aos valores maiores de carbono orgânico nesse solo, principalmente da fração ácidos fúlvicos (Quadro 5), que é uma fração mais ativa, com muitos grupamentos carboxílicos e fenólicos em sua estrutura, que geraram muitas cargas negativas, e

aumentam a dispersão de argila no solo. Para o grau de floculação e dispersão não foi observada variação significativa dentro dos ambientes.

Quadro 4. Valores médios para areia Grossa (AG), areia fina (AF), silte (SIL), argila (ARG), argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF) e grau de dispersão (GD), sob mata e diferentes usos agrícolas nas diferentes profundidades, e respectivos valores dos contrastes médios.

Usos	AG	AF	SIL	ARG	ADA	GF	GD
	-----dag/kg-----				-----%-----		
0 a 10 cm							
Mata	29	8	11	52	19	63	37
Seringueira	22	10	16	52	23	56	44
Laranjeira	29	12	9	50	18	63	37
Pastagem	32	15	12	41	18	57	42
C1	-3,67 <sup>ns</sup>	-7,33 <sup>*</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	10,34 <sup>*</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	5,10 <sup>ns</sup>	-5,10 <sup>ns</sup>
C2	-6,50 <sup>*</sup>	-4,17 <sup>*</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	9,50 <sup>*</sup>	2,84 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	-2,20 <sup>ns</sup>
C3	-10,00 <sup>*</sup>	-5,33 <sup>*</sup>	5,00 <sup>*</sup>	10,34 <sup>*</sup>	5,00 <sup>*</sup>	-1,50 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>
C4	-3,00 <sup>ns</sup>	-3,00 <sup>*</sup>	-2,67 <sup>*</sup>	8,67 <sup>*</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	5,90 <sup>ns</sup>	-5,90 <sup>ns</sup>
10 a 20 cm							
Mata	25	8	14	53	23	57	43
Seringueira	18	10	17	55	25	55	45
Laranjeira	27	13	7	53	9	83	17
Pastagem	25	12	11	52	16	68	32
C1	-0,33 <sup>ns</sup>	-4,00 <sup>*</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	6,67 <sup>ns</sup>	-11,00 <sup>ns</sup>	11,00 <sup>ns</sup>
C2	-3,00 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	2,50 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	-1,05 <sup>ns</sup>
C3	-7,66 <sup>*</sup>	-1,33 <sup>ns</sup>	5,34 <sup>*</sup>	3,66 <sup>ns</sup>	8,67 <sup>ns</sup>	-13,10 <sup>ns</sup>	13,10 <sup>ns</sup>
C4	1,67 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	-4,00 <sup>*</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	-7,00 <sup>ns</sup>	15,20 <sup>ns</sup>	-15,20 <sup>ns</sup>
20 a 30 cm							
Mata	23	7	14	56	24	56	44
Seringueira	20	10	16	54	22	59	41
Laranjeira	24	12	5	59	3	94	6
Pastagem	18	9	10	63	2	97	3
C1	4,34 <sup>*</sup>	-2,00 <sup>*</sup>	4,67 <sup>*</sup>	-7,00 <sup>*</sup>	22,00 <sup>*</sup>	-41,00 <sup>*</sup>	41,00 <sup>*</sup>
C2	3,67 <sup>*</sup>	2,33 <sup>*</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-6,17 <sup>*</sup>	10,50 <sup>*</sup>	-20,50 <sup>*</sup>	20,50 <sup>*</sup>
C3	2,00 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	5,00 <sup>*</sup>	-8,34 <sup>*</sup>	20,00 <sup>*</sup>	-38,00 <sup>*</sup>	38,00 <sup>*</sup>
C4	5,34 <sup>*</sup>	3,33 <sup>*</sup>	-4,67 <sup>*</sup>	-4,00 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	-3,00 <sup>ns</sup>	3,00 <sup>ns</sup>

C1 = (Mt - Pa); C2 = (Sr + Lr - 2 Pa); C3 = (Sr - Pa); C4 = (Lr - Pa)

<sup>\*</sup>, <sup>ns</sup> significativo e não significativo pelo teste "F" (P<0,05), respectivamente.

Na profundidade de 10 a 20 cm não houve variações significativas de ADA, grau de floculação e grau de dispersão para os contrastes montados, embora o

solo com laranjeira apresenta valor baixo de ADA, possivelmente devido à influência do horizonte B.

Na profundidade de 20 a 30 cm, percebe-se que os solos com laranjeira e pastagem degradada apresentaram valor muito baixo de ADA, possivelmente em função da presença de horizonte B mais exposto à superfície por erosão. Corroborando com essa suposição, os menores valores de ADA para o solo com pastagem estão correlacionados aos menores valores de carbono orgânico total, típico de horizontes subsuperficiais (Quadro 5). O grau de floculação e dispersão seguiu o comportamento da ADA.

As características químicas diferenciadas do solo com pastagem degradada (Quadro 2) não alteraram de maneira significativa o valor de ADA nesse ambiente. É possível que o efeito de geração de cargas pelo aumento de pH seja acompanhado por precipitação do  $Al^{3+}$ , que age como ligante de partículas primárias, aumentando a floculação. Segundo BRONICK & LAL (2005) a precipitação de hidróxido aumenta a agregação por promover a união de partículas primárias. Também os valores mais elevados de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  nesse solo provavelmente estão compensando o efeito do  $Al^{3+}$  na dupla camada difusa, não provocando grandes alterações na dispersão de argilas.

BRONICK & LAL (2005) dizem que os cátions bivalentes  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  melhoram a estrutura do solo através das ligações com as partículas de argila e matéria orgânica do solo, e o cátion  $Al^{3+}$  através das ligações catiônicas e pela formação de compostos orgânico-metálicos e geis. Segundo ARMSTRONG & TANTON (1992), o  $Ca^{2+}$  pode inibir a dispersão de argilas e a ruptura de agregados por substituir o Na e  $Mg^{2+}$  nas argilas e agregados, aumentando assim a estabilidade dos agregados.

### **4.3. Carbono Orgânico**

Os resultados obtidos para o carbono orgânico total (COT) (Quadro 5) mostraram, de maneira geral, valores mais baixos nos teores de carbono nos solos com uso agrícola, em relação à mata na profundidade de 0 a 10 cm, sendo

que nas demais profundidades as variações não foram tão pronunciadas. Os maiores teores absolutos de COT no solo com mata estão relacionados ao maior aporte de material vegetal retornado ao solo. Os demais solos se diferenciaram quanto ao COT da mata devido à ocupação anterior dessas áreas pela atividade canavieira, onde eram realizadas práticas de manejo que favoreciam a mineralização rápida do carbono orgânico, como o revolvimento do solo e a utilização do fogo, além da ausência de práticas conservacionistas, que juntamente com o relevo acentuado potencializavam os processos erosivos. Com isso houve uma grande perda do COT do solo, que ainda não foi recuperada devido ao tempo de implantação das atividades agrícolas presentes.

Pode-se verificar que o uso antrópico do solo (contraste C1) causou reduções significativas nos teores de COT do solo nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, que é consequência do uso anterior com a cana, que provocou uma grande degradação do solo.

Pelo contraste C2 observa-se que em todas as profundidades o solo com pastagem degradada mostrou valores significativamente menores de COT em relação aos demais usos agrícolas, o que denota maior grau de recuperação dos estoques de COT nos solos sob seringueira e laranjeira. Maior teor de COT no solo é de grande importância para se ter uma melhor agregação e estruturação do mesmo, devido aos vários efeitos benéficos que a matéria orgânica apresenta na manutenção e recuperação da estrutura do solo. Após a aproximação das partículas primárias, a matéria orgânica apresenta importante papel como um dos fatores determinantes da estabilização de agregados (BARTOLI et al., 1988; SILVA & MIELNICZUCK, 1997; SIX, et al., 2000a), atuando como agente cimentante das unidades estruturais pelas suas diversas características de superfície (LIMA et al., 2003).

Pode-se verificar também que o solo com seringueira apresentou valores de COT significativamente maiores que o solo com pastagem degradada (contrastos C3) em todas as profundidades, ao passo que o solo com laranjeira (contraste C4), apesar de apresentar valores mais elevados de COT que a pastagem degradada, apenas apresentou aumento significativo na profundidade de 10 a 20

cm. Assim, pode-se verificar que o uso com seringueira apresentou maior potencial para recuperar o COT no solo, possivelmente pelo maior aporte de material vegetal, bem como pelo maior tempo de uso do solo com essa cultura.

Quadro 5. Carbono orgânico total (COT), fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH), fração humina (FHN) e o somatório das frações ácidos fúlvicos, húmicos e humina ( $\Sigma$ ), para as diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios do solo sob mata e diferentes usos agrícolas.

Usos	COT	FAF	FAH	FHN	$\Sigma$
	-----dag/kg-----				
	0 a 10 cm				
Mata	2,09	0,35	0,38	1,34	2,07
Seringueira	1,81	0,34	0,28	1,08	1,70
Laranjeira	1,64	0,26	0,29	1,07	1,62
Pastagem	1,32	0,17	0,15	0,76	1,08
C1	0,77 *	0,18 *	0,23 *	0,58 *	0,99 *
C2	0,41 *	0,13 *	0,14 *	0,32 *	0,58 *
C3	0,49 *	0,17 *	0,13 *	0,32 *	0,62 *
C4	0,32 <sup>ns</sup>	0,09 *	0,14 *	0,31 *	0,54 *
	10 a 20 cm				
Mata	1,35	0,29	0,16	0,97	1,43
Seringueira	1,32	0,26	0,14	0,80	1,20
Laranjeira	1,31	0,25	0,10	0,75	1,10
Pastagem	0,98	0,20	0,04	0,58	0,82
C1	0,37 *	0,09 *	0,12 *	0,39 *	0,61 *
C2	0,34 *	0,06 *	0,08 *	0,20 *	0,33 *
C3	0,34 *	0,06 *	0,10 *	0,22 *	0,38 *
C4	0,33 *	0,05 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,17 *	0,28 *
	20 a 30 cm				
Mata	0,86	0,32	0,07	0,76	1,15
Seringueira	1,19	0,26	0,13	0,76	1,15
Laranja	1,01	0,21	0,04	0,63	0,88
Pastagem	0,73	0,15	0,00	0,47	0,61
C1	0,13 <sup>ns</sup>	0,17 *	0,07 *	0,29 *	0,54 *
C2	0,37 *	0,08 *	0,08 *	0,23 *	0,40 *
C3	0,46 *	0,11 *	0,13 *	0,29 *	0,54 *
C4	0,28 <sup>ns</sup>	0,06 *	0,04 <sup>ns</sup>	0,16 *	0,27 *

C1 = (Mt - Pa); C2 = (Sr + Lr - 2 Pa); C3 = (Sr - Pa); C4 = (Lr - Pa)

\*,<sup>ns</sup> significativo e não significativo pelo teste "F" (P<0,05), respectivamente.

Apesar do menor tempo de uso do solo com a laranjeira, nota-se, que o COT desse solo não apresentou diferenças marcantes do solo com seringueira. Isto provavelmente se deve às práticas de manejo usadas na laranjeira, onde não há revolvimento do solo e se tem uma boa cobertura do mesmo por meio de plantas e resíduos vegetais, evidenciando a importância do uso e do manejo na manutenção e recuperação do carbono orgânico do solo. Solos com uma boa cobertura impedem ou diminuem a ação direta das gotas de chuva, mantêm mais uniforme a umidade e temperatura do solo, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e atividade microbiana, contribuindo para a criação de um ambiente mais favorável a agregação (CAMPOS et al., 1999).

Os baixos valores de COT na pastagem são explicados pelo estágio avançado de degradação, que leva a uma redução do material vegetal depositado em superfície. Também deve-se considerar que a redução nos teores de COT na camada de 0 a 10 cm da pastagem pode estar associada ao menor teor de argila em profundidade neste ambiente (Quadro 4), que confere menor proteção coloidal, facilitando a degradação do material orgânico. BAYER & MIELNICZUK (1999), ressaltam que solos mais intemperizados apresentam elevada área de superfície específica e os grupos funcionais dispostos na superfície determinam a grande interação desses minerais e a matéria orgânica do solo.

A melhor cobertura vegetal do solo contribui para um maior aporte de material orgânico, favorecendo a proliferação de micro e macrofauna do solo, que favorecem a formação de agregados, indicando que nos solos com mata, seringueira e laranjeira, onde se tem uma maior cobertura vegetal do solo e atividade biológica mais intensa (Quadro 3), a formação e resiliência da estrutura têm grande participação de processos biogênicos.

Entre a macrofauna do solo, as minhocas são os mais reconhecidos e, juntamente com as formigas e os térmitas, tem o efeito mais significativo na estrutura do solo e em suas funções (LEE & FOSTER, 1991; HENDRIX, 1999). Segundo JONGMANS et al., (2003), a qualidade da macro e microestrutura do solo, o grau de compactação e a dinâmica da matéria orgânica do solo foram fortemente influenciados pela ocorrência de minhocas. Com relação à microfauna,

KAY & ANGERS (1999), afirmam que os microorganismos são envolvidos na estabilização da estrutura do solo por promover mecanismos de ligação entre as partículas do solo e por produzir materiais cimentantes durante a decomposição de materiais orgânicos.

#### **4.4. Substâncias húmicas**

Pode-se observar que houve uma boa concordância, em média, entre os valores de COT e o somatório das frações ácidos fúlvicos, húmicos e humina ( $\Sigma$ ) (Quadro 5).

As frações húmicas, compostas pelas frações ácidos fúlvicos, húmicos e huminas, representam as condições em que a matéria orgânica se encontra compartimentalizada nos diversos ambientes em estudo. Notou-se, de modo geral, que para os teores médios de COT das frações analisadas (frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (FHN)), a FHN superou as demais frações (Quadro 5). Esse resultado indica uma possível característica da matéria orgânica desses solos, herdada do uso agrícola anterior (cana), devido a prática de queimas que levaram ao aumento da humina residual (black carbon). Neste caso, a humina sob mata seria diferenciada, e predominantemente formada por matéria orgânica leve. Alguns estudos em solos tropicais também mostram teores da FHN superiores aos das FAF e FAH (MENDONÇA, 1998; NASCIMENTO, 1992). Segundo FELBECK (1965), as huminas são substâncias altamente resistentes à degradação microbiana, constituídas por ácidos húmicos de natureza mais simples, fortemente combinadas à fração mineral do solo, indicando que essa fração possa estar contribuindo de forma diferenciada para formação de agregados com maior grau de desenvolvimento nos ambientes avaliados.

O uso do solo com atividades antrópicas (contraste C1) mostra valores significativamente menores de COT da FAF, FAH e FHN em todas as profundidades avaliadas, mostrando que houve grande perda de carbono dessas frações devido à ocupação anterior com a cana-de-açúcar, em função, principalmente, do manejo utilizado e do relevo movimentado, e que ainda não

foram totalmente recuperadas com os atuais usos do solo. Os maiores valores de COT dessas frações no solo com mata, principalmente na profundidade de 0 a 10 cm, correlacionam-se com os maiores valores de COT do solo encontrados nesse ambiente (Quadro 5).

As características pedoambientais mais estáveis no ambiente com mata podem estar favorecendo uma maior interação dessas substâncias húmicas com a fração mineral do solo (STEVENSON, 1994), acarretando maior participação do COT na agregação, através das substâncias húmicas, que induzem maior estabilidade de agregados pela formação de complexos argilo-húmicos, por meio de pontes de cátions polivalentes adsorvidos nas superfícies das argilas (PICOLLO & MBAGWU, 1994; CANELLAS et al., 1999). Isto ajuda a explicar a formação de estrutura granular com grau de desenvolvimento forte, encontrada em todas as profundidades desse solo.

Pelo contraste C2 pode-se verificar que os teores de COT para as frações FAF, FAH e FHN foram significativamente menores para o solo com pastagem degradada, mostrando que os solos com seringueira e laranjeira tiveram maior resiliência dos estoques de carbono nas frações ácidos fúlvicos, húmicos e humina, em todas as profundidades avaliadas. Os menores valores de COT nas respectivas frações húmicas para a pastagem degradada se correlacionam com os menores teores de COT do solo encontrados nesse ambiente, em todas as profundidades avaliadas, e é função do menor aporte vegetal em relação aos demais ambientes. Esses valores indicam uma menor participação da matéria orgânica e suas respectivas frações (FAF, FAH e FHN), na formação da estrutura do solo dentro desse ambiente.

Pode-se notar, pelos contrastes C3 e C4, que ambos os solos, com seringueira e laranjeira, apresentaram teores mais elevados de COT nas frações ácidos fúlvicos, húmicos e humina, em comparação com o solo com pastagem degradada, na profundidade de 0 a 10 cm. Este resultado mostra que o uso do solo com seringueira e laranjeira, mesmo sendo o último com menor tempo de uso, apresentaram recuperação dos estoques de carbono das substâncias húmicas em comparação com a pastagem degradada. O ambiente com

seringueira teve maior potencial de recuperação dos teores de COT nas frações ácidos fúlvicos e húmicos na profundidade de 10 a 20 cm, e na fração ácido húmico na profundidade de 20 a 30 cm. Os maiores valores, em profundidade, de COT das frações FAF, FAH na seringueira, podem ser justificados pela maior incorporação da matéria orgânica em virtude da maior intensidade de bioturbação em relação à laranjeira (Quadro 2).

A maior recuperação dos teores de COT das substâncias húmicas em maior ou menor grau, nos solos com seringueira e laranjeira, é de grande importância para a resiliência da estrutura desse solo, pois segundo PICOLLO & MBAGWU (1994) as substâncias húmicas induzem maior estabilidade de agregados do solo pela formação de complexos argilo-húmicos, por meio de pontes de cátions polivalentes adsorvidos nas superfícies das argilas, de forma que os grupos ácidos reativos são distribuídos por toda macromolécula húmica de forma heterogênea, e a quelatação de cátions polivalentes pode ocorrer simultaneamente em diferentes partículas, resultando na melhoria da agregação do solo.

O solo com seringueira apresentou um valor diferenciado de COT da FAF em superfície, assemelhando-se com o solo de mata, o que provavelmente ocorreu pela maior produção de biomassa nesse ambiente, advindos dos resíduos (folhas e galhos) da seringueira, que contribuem para o maior aporte de matéria orgânica mais reativa, ou ainda pelo maior tempo de uso do solo com essa cultura. Segundo MENDONÇA & ROWELL (1996), os ácidos fúlvicos possuem maior capacidade de formar complexos-argilo húmicos tornando-os mais estáveis que os ácidos húmicos e, por conseqüência, mais importantes na formação dos agregados de solos com textura argilosa. Desta forma, o maior teor de COT da fração FAF de 0 a 10 cm no solo com seringueira pode explicar a ocorrência de estrutura em blocos subangulares com agregados maiores (classe média e grande) e grau de desenvolvimento forte; e granular com agregados maiores (classe média) que a mata (Quadro 2).

Com relação aos índices FAH/FAF e FAH/FHN (Quadro 6), na profundidade de 0 a 10 cm, observa-se que o uso antrópico (contraste C1) não alterou

significativamente o índice FAH/FAF, ao passo que houve redução do índice FAH/FHN, indicando que houve perda proporcional e maior das frações FAF e FAH, com o uso anterior com a cana, e pelo contraste C2 pode-se notar que ainda não houve uma recuperação proporcional destas frações com a seringueira e laranjeira. Nas profundidades de 10 a 20 e 20 a 30 cm esses dois índices comportaram-se de maneira semelhante, apresentando uma redução significativa com o uso antrópico (contraste C1), evidenciando maior perda proporcional nos teores de ácidos húmicos (Quadro 5) em profundidade. A maior recuperação do COT da FAH foi no solo com seringueira (contrastes C3 e C4), em relação ao solo com laranjeira.

Para os índices  $FHN / (FAF + FAH)$  e  $FHN / (FAF + FAH + FHN)$ , notou-se que o uso antrópico do solo (contraste C1) só não aumentou significativamente esses índices na profundidade de 10 a 20 cm, indicando que há diferenças no grau de humificação do carbono do solo entre os solos, nas profundidades de 0 a 10 e 20 a 30 cm.

Os maiores valores desses índices no solo de pastagem degradada nas profundidades de 0 a 10 e 20 a 30 cm indicam maior proporção relativa da fração húmica nesse ambiente. A redução nos teores das frações FAF e FAH em detrimento à fração FHN no solo com pastagem pode ser atribuído à erosão, que favorece a remoção preferencial de FAF e FAH, concentrando húmica. O pH mais elevado, somado às condições de relevo acidentado, facilita ainda a remoção de formas solúveis de compostos orgânicos. Também, a ação do fogo sobre a pastagem, nos períodos de seca, contribui para a redução das frações FAF e FAH, aumentando o turnover da matéria orgânica e a húmica residual.

Apesar dos menores valores de COT do solo em relação aos demais ambientes, a maior proporção da fração FHN no solo com pastagem pode estar contribuindo para o tamanho dos agregados formados (classe média) e o grau de desenvolvimento moderado/forte no horizonte A (Quadro 2), uma vez que a fração FHN é resistente a degradação microbiana e está fortemente combinada à fração mineral do solo (STEVENSON, 1994).

Quadro 6. Estimativas dos contrastes médios e valores médios estabelecidos para as relações entre fração ácidos húmicos / fração ácidos fúlvicos; fração ácidos húmicos / fração humina; fração humina / (fração ácidos fúlvicos + fração ácidos húmicos) e fração humina / (frações ácidos fúlvicos + ácidos húmicos + humina), para as diferentes profundidades, do solo sob mata e diferentes usos agrícolas.

Usos	FAH/FAF	FAH/FHN	FHN/(FAF+FAH)		FHN/(FAF+FAH+FHN)	
			0 a 10 cm		10 a 20 cm	
Mata	1,11	0,29	1,84	0,64		
Seringueira	0,87	0,26	1,75	0,63		
Laranjeira	1,12	0,27	1,94	0,65		
Pastagem	0,84	0,19	2,38	0,70		
C1	0,27 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>*</sup>	-0,54 <sup>*</sup>	-0,06 <sup>*</sup>		
C2	0,15 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,54 <sup>*</sup>	-0,06 <sup>*</sup>		
C3	0,03 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>*</sup>	-0,07 <sup>*</sup>		
C4	0,27 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>		
			10 a 20 cm			
Mata	0,56	0,17	2,17	0,68		
Seringueira	0,52	0,17	2,00	0,66		
Laranjeira	0,43	0,14	2,19	0,68		
Pastagem	0,20	0,07	2,47	0,71		
C1	0,36 <sup>*</sup>	0,10 <sup>*</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>		
C2	0,27 <sup>*</sup>	0,09 <sup>*</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>*</sup>		
C3	0,32 <sup>*</sup>	0,10 <sup>*</sup>	-0,48 <sup>*</sup>	-0,04 <sup>*</sup>		
C4	0,21 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>		
			20 a 30 cm			
Mata	0,22	0,09	1,96	0,60		
Seringueira	0,47	0,17	1,95	0,65		
Laranjeira	0,17	0,05	2,53	0,70		
Pastagem	0,01	0,01	3,16	0,75		
C1	0,21 <sup>*</sup>	0,09 <sup>*</sup>	-1,20 <sup>*</sup>	-0,10 <sup>*</sup>		
C2	0,31 <sup>*</sup>	0,11 <sup>*</sup>	-0,91 <sup>*</sup>	-0,07 <sup>*</sup>		
C3	0,46 <sup>*</sup>	0,16 <sup>*</sup>	-1,20 <sup>*</sup>	-0,10 <sup>*</sup>		
C4	0,15 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,63 <sup>*</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>		

C1 = (Mt - Pa); C2 = (Sr + Lr - 2 Pa); C3 = (Sr - Pa); C4 = (Lr - Pa)

<sup>\*</sup>, <sup>ns</sup> significativo e não significativo pelo teste "F" (P<0,05), respectivamente.

Pelo contraste C2 pode-se notar que os índices FHN/(FAF + FAH) e FHN/(FAF+ FAH + FHN) foram menores para os solos com seringueira e laranjeira, indicando que houve maior recuperação das frações FAF e FAH nesses

ambientes, sendo que a seringueira apresentou maior potencial para recuperação dessas frações (contraste C3) em relação à laranjeira (contraste C4). As diferenças proporcionais nas diferentes frações das substâncias húmicas são importantes para a maior resiliência da estrutura do solo, pois apresentam características estruturais diferentes, o que vai influenciar na agregação do solo.

FORTUN et al. (1990) demonstraram que os ácidos húmico e fúlvico são mais efetivos no incremento da agregação, principalmente de solos com menor teor de argila, afetando a forma e o tamanho dos agregados, e ainda a adição dos mesmos no solo levaram ao aumentando de agregados maiores que 0,2 mm. Também PICOLLO & MBAGWU (1990) observaram que não somente a estabilidade dos agregados do solo foi fortemente correlacionada com o conteúdo de substâncias húmicas mas também que quanto maior o tamanho molecular da fração húmica, maior era a estabilidade dos microagregados.

#### **4.5. Densidade do solo, densidade de partículas, micro e macroporosidade, porosidade total e equivalente de umidade.**

De modo geral, pode-se notar que os valores de densidade do solo apresentaram modificações notáveis nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, entre os solos avaliados (Quadro 7). Nos solos com mata, seringueira e laranja a densidade do solo aumentou com a profundidade, o que deve estar relacionado aos menores valores de COT do solo em profundidade. No solo com pastagem ocorreu o inverso, com maior densidade do solo de 0 a 10 cm, indicando que nesse ambiente está ocorrendo a maior compactação/adensamento do solo em superfície.

Pelo contraste C1 pode-se observar que a atividade antrópica no solo durante a ocupação com a cana aumentou os valores de densidade do solo em todas as profundidades avaliadas. Os menores valores de densidade do solo para mata podem ser relacionados ao maior teor de COT do solo nesse ambiente, que além de possuir menor massa, atua na estruturação do solo (BRADY, 1989), impedindo a compactação do solo, uma vez que houve grandes perdas de COT

do solo com a atividade canavieira (Quadro 5). Também deve-se considerar que com o desmatamento o solo fica exposto à ação direta das gotas de chuva e raios solares, tornando-se fisicamente mais frágil.

Por meio do contraste C2 nota-se que o solo com pastagem degradada mostrou densidades do solo significativamente maiores em todas as profundidades, evidenciando que houve maior resiliência da estrutura nos solos com seringueira e laranjeira, onde os valores de densidade de solo foram menores. Esse resultado deve-se ao manejo aplicado à seringueira e laranjeira, que permite constantes entradas de matéria orgânica no solo, levando a uma redução na densidade do solo. COLORADO et al. (2004) encontraram que o enriquecimento e a manutenção de matéria orgânica no solo levou à recuperação de valores mais baixos de densidade do solo.

No ambiente com pastagem degradada o pisoteio e o pastejo seletivo e freqüente do gado tendem a provocar degradação nas propriedades físicas do solo, refletindo em aumento da densidade e redução da porosidade total e macroporosidade, fazendo com que a permeabilidade do solo seja reduzida (COSTA, 1980; DADALTO et al., 1989). Na literatura são mencionados valores de pressões que variam entre 0,25 e 0,49 MPa para bovinos de 400 a 500 kg, podendo atingir a profundidade de 5 a 10 cm (CARVALHO, 1976; PROFFITT et al., 1993).

É considerável o estágio de degradação da pastagem, com grande parte do solo exposto, o que potencializa a ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem, que provocam a expansão e contração do solo, produzindo microrrachaduras, que quebram os agregados. Com o umedecimento do solo, ocorre deslocamento das suas partículas, as quais se rearranjam nas camadas situadas abaixo, provocando o aumento da densidade do solo, configurando assim, um quadro de adensamento. Observa-se que a falta de cobertura, aliada aos impactos das gotas de chuva, provocaram o selamento superficial do solo, o que leva a redução da taxa de infiltração de água, ocasionando problemas de erosão e até mesmo de restrição a germinação.

Os contrastes C3 e C4, na profundidade de 0 a 10 cm, mostram que ambos os usos, com seringueira e laranjeira, apresentaram potencial para diminuir a densidade do solo, e conseqüentemente melhorar a estrutura do solo nesta profundidade, principalmente a seringueira, que apresentou valores de densidade do solo bem próximos aos da mata.

Na profundidade de 10 a 20 e 20 a 30 cm, pode-se notar, pelo C4, que a densidade do solo com laranja não diferiu do solo com pastagem, mostrando que, em profundidade, a seringueira apresentou maior potencial de resiliência da densidade do solo. A recuperação da densidade do solo na seringueira se deve ao manejo, onde se tem o mínimo de intervenções e a maior proteção do solo pela vegetação, diminuindo impactos de gotas de chuva e ciclos de umedecimento e secagem. Também ocorre maior entrada de carbono no solo pelo maior aporte vegetal e maior atividade biológica nesse ambiente (Quadro 2).

O ambiente laranja, apesar de melhorar a densidade do solo na profundidade de 0 a 10 cm, apresentou valores sempre mais elevados de densidade que o solo com seringueira, mostrando que esse ambiente não foi tão eficiente na recuperação da densidade do solo como a seringueira. Isto se deve ao tráfego de máquinas agrícolas, com a conseqüente redistribuição da pressão exercida pelos pneus, bem como pela menor propensão à ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem, que favorecem a compactação/adensamento. Em um ano agrícola, é comum ocorrer até quinze passadas de trator para a realização de operações como adubações e pulverizações (STOLF, 1987), e os implementos agrícolas usados geralmente apresentam pneus mais estreitos, podendo exercer elevadas valores de pressão sobre o solo, que se redistribuem no solo, elevando a densidade do solo. SANCHES et al. (1999) constataram que, independente da posição de amostragem, seja na linha ou entrelinha da cultura da laranja, a densidade do solo foi maior do que no solo sob mata.

A densidade de partícula (Quadro 7) apresentou diferenças significativas devido aos valores diferenciados encontrados em todas as profundidades no solo com pastagem degradada, indicando a presença de um material de origem um

pouco diferenciado nesse ambiente, provavelmente com maior influência anfibolítica.

Quadro 7. Valores médios de densidade dos solo (DS), densidade de partículas, microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma), porosidade total (Pt) e equivalente de umidade (EU) para as diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios do solo sob mata e diferentes usos agrícolas.

Usos	DS	Dp	Mi	Ma	Pt	EU
	-----kg/dm <sup>3</sup> -----		-----%-----			--kg/kg--
0 a 10 cm						
Mata	0,99	2,61	34	29	62	0,309
Seringueira	1,14	2,59	36	20	52	0,293
Laranjeira	1,29	2,55	35	15	49	0,262
Pastagem	1,47	2,40	34	5	39	0,219
C1	-0,48 *	0,21 *	0,21 <sup>ns</sup>	0,24 *	0,23 *	0,09 *
C2	-0,25 *	0,17 *	0,02 <sup>ns</sup>	0,13 *	0,14 *	0,06 *
C3	-0,33 *	0,19 *	0,17 <sup>ns</sup>	0,15 *	0,17 *	0,07 *
C4	-0,18 *	0,15 *	0,19 <sup>ns</sup>	0,10 *	0,10 *	0,04 *
10 a 20 cm						
Mata	1,23	2,58	41	12	52	0,301
Seringueira	1,18	2,57	36	18	54	0,301
Laranjeira	1,34	2,60	36	12	48	0,260
Pastagem	1,37	2,44	34	9	44	0,261
C1	-0,14 *	0,14 *	0,07 *	0,03 <sup>ns</sup>	0,08 *	0,04 *
C2	-0,11 *	0,15 *	0,02 <sup>ns</sup>	0,06 *	0,07 *	0,02 <sup>ns</sup>
C3	-0,19 *	0,13 *	0,02 <sup>ns</sup>	0,09 *	0,10 *	0,04 *
C4	-0,03 <sup>ns</sup>	0,16 *	0,02 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
20 a 30 cm						
Mata	1,24	2,66	40	13	53	0,306
Seringueira	1,22	2,64	37	16	54	0,290
Laranjeira	1,35	2,56	39	8	47	0,273
Pastagem	1,40	2,46	40	2	43	0,303
C1	-0,16 *	0,20 *	0,00 <sup>ns</sup>	0,11 *	0,10 *	0,00 <sup>ns</sup>
C2	-0,11 *	0,14 *	-0,02 <sup>ns</sup>	0,10 *	0,07 *	-0,02 *
C3	-0,18 *	0,18 *	-0,03 *	0,14 *	0,11 *	-0,01 <sup>ns</sup>
C4	-0,05 <sup>ns</sup>	0,10 *	-0,01 <sup>ns</sup>	0,06 *	0,04 *	-0,03 *

C1 = (Mt - Pa); C2 = (Sr + Lr - 2 Pa); C3 = (Sr - Pa); C4 = (Lr - Pa)

\*,<sup>ns</sup> significativo e não significativo pelo teste "F" (P<0,05), respectivamente.

A distribuição dos poros (Quadro 7) mostra que somente os ambientes com mata e seringueira apresentaram porosidade total (Pt) maior que 50 %, que

segundo KIEHL (1979), é considerado o valor ideal para um solo de boa qualidade física. O ambiente com pastagem degradada, em todas as profundidades, e o ambiente com laranjeira na profundidade de 20 a 30 cm, apresentou volume de macroporos menor que  $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$  de solo. Alguns pesquisadores propõem este valor como limite mínimo para macroporos, afetando a capacidade de aeração dos solos (KIEHL, 1979; COCKORFT & OLSSON, 1997).

Observando o contraste C1 nota-se que os valores para porosidade total diminuíram significativamente com o uso antrópico do solo em todas as profundidades. Pelo contraste C2 pode-se notar que houve uma recuperação nos valores de porosidade total nos solos com seringueira e laranjeira, sendo que somente na laranjeira, na profundidade de 10 a 20 cm, não houve recuperação. Entre os solos agrícolas, percebe-se uma seqüência decrescente na porosidade total para seringueira, laranjeira e pastagem, respectivamente, correlacionando-se inversamente com os valores de densidade do solo. Nas profundidades de 10 a 20 e 20 a 30 cm o solo com seringueira apresentou porosidade total maior que o solo sob mata.

De modo geral, pode-se notar que a redução na porosidade total foi provocada pela diminuição na macroporosidade, uma vez que os valores de microporosidade só apresentaram diferença significativa com o uso antrópico (contraste C1) na profundidade de 10 a 20 cm, onde também não houve diferenças entre os solos com seringueira, laranjeira e pastagem degradada (contraste C2). Segundo KAY (1999), macroporos, e em menor extensão os mesoporos, são menos estáveis que as outras classes de poros, e se rompem quando sofrem algum tipo de estresse. Os microporos são influenciados pela textura e matéria orgânica, mas não são influenciados pelo aumento da densidade do solo (da SILVA & KAY, 1997).

Com relação à macroporosidade (Quadro 7), na profundidade de 0 a 10 e 20 a 30 cm nota-se que o uso antrópico (contraste C1) acarretou em uma drástica redução desses valores. Nestas profundidades os solos com seringueira e laranjeira apresentaram resiliência da macroporosidade (contraste C2), sendo que os maiores valores de macroporosidade foram observados na seringueira. Na

profundidade de 0 a 10 cm o solo com seringueira teve valor de macroporosidade menor que a mata, e na profundidade de 20 a 30 a seringueira apresentou valor superior. Para a profundidade de 10 a 20 cm, a utilização antrópica do solo não alterou significativamente a macroporosidade (contraste C1), e foram observados valores iguais e superior ao da mata, para os solos com laranjeira e seringueira, respectivamente.

Pode-se notar uma seqüência decrescente nos valores de macroporosidade para os solos com seringueira, laranjeira e pastagem degradada, respectivamente. O comportamento observado na macroporosidade pode ser atribuído à atividade biológica, por meio de canais deixados por macroorganismos, e às raízes de plantas, que apresentam também uma seqüência decrescente de abundância para os ambientes com seringueira, laranjeira e pastagem degradada. Também, no ambiente com pastagem degradada, a pressão exercida pelo pisoteio do gado e a falta de cobertura do solo, potencializando os ciclos de umedecimento e secagem, estão contribuindo para redução de macroporos.

Os maiores valores de macroporos nos solos com seringueira e laranjeira, além de indicar melhores condições estruturais, são de grande importância para o melhor desenvolvimento de plantas, uma vez que os macroporos têm a função de infiltração e condução de água, aeração e crescimento radicular. Segundo MCBRUIDE & WATSON (1990), a resiliência estrutural é também exibida por uma recuperação parcial (relaxamento) da porosidade depois da remoção do stresse.

Com relação ao equivalente de umidade (Quadro 7), alguns autores (KIEHL, 1979; BOTELHO DA COSTA, 1985; BERNARDO, 1989) associam os valores obtidos com valores obtidos em tensões de - 33 kPa (1/3 atm), que representa a capacidade de campo. Pelos resultados pode-se notar que os solos mostram diferenças significativas na retenção de água pelo na profundidade de 0 a 10 cm. Pelo contraste C1 nota-se que o uso antrópico provocou redução na capacidade de retenção de água pelo solo nessa profundidade, sendo que os ambientes com seringueira e laranjeira apresentaram uma recuperação dessa capacidade de retenção de água pelo solo (contrastes C3 e C4). Pode-se notar

uma seqüência decrescente para os solos com mata, seringueira, laranjeira e pastagem degradada, respectivamente.

Na profundidade de 10 a 20 cm, o uso antrópico também reduziu a capacidade de retenção de água (contraste C1), sendo que apenas no solo com seringueira houve recuperação (contraste C3). Para a profundidade de 20 a 30 cm o uso antrópico do solo (contraste C1) não variou a retenção de água, o que pode estar associado ao maior teor de argila no solo com pastagem, nesta profundidade (Quadro 4). Os dados mostram que o equivalente de umidade tem comportamento semelhante ao COT do solo e argila, sugerindo uma boa relação entre si.

Segundo LAL (1991), a estrutura do solo se refere ao tamanho, forma e arranjo de sólidos e vazios, continuidade de poros e vazios, e sua capacidade de reter e transmitir fluidos e substâncias orgânicas e inorgânicas, e a habilidade de suportar um vigoroso crescimento e desenvolvimento de raízes.

Nesse sentido pode-se notar que o uso do solo com atividades antrópicas resulta em variações significativas na estrutura do mesmo, apresentando níveis de degradação diferentes, sendo todos diferenciados da mata como referência.

A estrutura mostra-se menos degradada no solo com seringueira, seguido da laranjeira, sendo máxima no solo com pastagem degradada, onde se tem valores altos de densidade do solo, menor porosidade total e macroporosidade, capacidade de retenção de água mais reduzida, além de selamento superficial, caracterizando uma estrutura fortemente degradada nesse ambiente.

O longo período de utilização agrícola com a cana-de-açúcar levou a uma intensa degradação do solo, devido à utilização freqüente de queimadas, o revolvimento do solo e a pouca preocupação com práticas conservacionistas, juntamente com o relevo acentuado, que potencializou as perdas por erosão, provocando a exposição do horizonte B. Assim, a implantação de novos usos agrícolas nesse solo levou a uma recuperação diferenciada da estrutura, maiores para os solos de seringueira e laranjeira, onde se tem um manejo que proporciona maior cobertura do solo e aporte de matéria orgânica, aumentando os estoques de COT do solo e a atividade biológica, que estão diretamente relacionados com a formação da estrutura do solo.

Para o solo com pastagem degradada a recuperação foi retardada, se não piorada, em função do manejo inadequado empregado nessa pastagem, levando a um estágio avançado de degradação da mesma, culminando em pouca cobertura do solo e fraca atividade biológica.

#### **4.6. Estabilidade e distribuição do tamanho dos agregados**

Pode-se notar que para todos os tratamentos a classe de agregados > 2,00 mm apresentou maiores proporções que as outras classes, em todas as profundidades (Quadro 8). Isso é devido ao fato de que todos os solos não sofreram práticas de revolvimento, que pode levar a ruptura dos agregados maiores. KEMPER & CHEPIL (1965) mostraram que não só a estabilidade dos agregados é importante, como a sua distribuição por tamanho, pois isto vai determinar a sua susceptibilidade ao movimento pela água e vento (erosão) bem como na determinação das dimensões do espaço poroso nos solos cultivados.

Por meio dos contrastes estabelecidos para avaliar a distribuição dos agregados, pode-se notar que para as profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, o uso antrópico do solo não causou modificações significativas para as classes de agregados AG 1 (> 2,0 mm), AG 2 (1 a 2 mm), AG 3 (0,5 a 1 mm), AG 4 (0,250 a 0,5 mm), AG 5 (0,105 a 0,250 mm) e AG 6 (< 0,105 mm). Houve diferença significativa somente entre os solos com seringueira e pastagem degradada (contraste C3), para as classes AG 5 e AG 6, em ambas profundidades, onde o solo com seringueira apresentou menores e maiores proporções de agregados nestas classes, respectivamente. Também na profundidade de 10 a 20 cm a classe AG 3 foi menor na seringueira em comparação com a pastagem degradada. A maior proporção de agregados na classe AG 6 pode estar relacionado a maior ocorrência de argila dispersa em água no ambiente com seringueira (Quadro 4).

Para a profundidade de 20 a 30 cm pode-se notar que o uso antrópico causou uma redução na proporção de agregados retidos na classe AG 1, e como consequência aumentou significativamente agregados retidos na classe AG 2.

Pelo contraste C4 nota-se o ambiente com seringueira apresentou maior potencial de recuperação de agregados maiores de 2 mm (classe AG1).

A distribuição de agregados apresentada no solo com laranjeira é atribuída ao fato desse ambiente, mesmo não sendo estatisticamente significativo, apresentar menor proporção de agregados > 2,0 mm, o que leva a um conseqüente aumento nas demais classes de agregados. O solo com seringueira apresentou comportamento inverso, com maiores proporções de agregados na classe AG 1 e menores nas demais.

O fato dos solos não se diferenciarem para a classe AG 1 na profundidade de 0 a 10 e 10 a 20 cm, indica que o COT não foi suficiente para explicar as diferenças de agregação nestes solos, uma vez que houve diferenças entre os eles quanto ao COT (Quadro 5). Para os ambientes com mata, seringueira e laranjeira, onde se tem um maior aporte e biomassa, e por conseqüência maior produção de resíduos vegetais, a formação de macroagregados pode ser explicada pela maior presença de polissacarídeos, fungos e atividade biológica, que são importantes agentes de formação dos macroagregados. É válido ressaltar que nesses ambientes também deve ocorrer maior valor de matéria orgânica particulada (MOP), o que influi na formação de macroagregados. Segundo BRONICK & LAL (2005), a MOP pode agir como núcleo para formação de macroagregados pelo material acumulado ao redor, advindos da sua decomposição, e CAMBARDELLA & ELLIOTT (1993) reportaram uma forte correlação entre o carbono da MOP e macroagregados no solo. Também GALE et al. (2000a), afirma que em sistemas com poucos perturbações, a formação e estabilização dos agregados são diretamente relacionados com a decomposição de resíduos de raízes e a dinâmica do carbono da MOP do solo, dependendo portanto de atividades biológicas.

Com relação ao solo com pastagem degradada, não era esperado a distribuição de agregados com grande proporção de agregados na classe AG 1, devido ao estado de degradação e aos menores valores de COT do solo, indicando que o COT isolado não é suficiente para explicar a estabilidade de agregados nesse solo.

Quadro 8. Valores médios das classes de agregados > que 2 mm (AG1), de 1 a 2 mm (AG2), de 0,50 a 1 mm (AG3), de 0,250 a 0,50 mm (AG4), de 0,105 a 0,205 mm (AG5) e menor que 0,105 mm (AG6), nas diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios para o solo sob mata e diferentes usos agrícolas.

Usos	%					
	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
0 a 10 cm						
Mata	74,42	3,56	3,50	2,55	1,21	14,76
Seringueira	75,29	2,26	1,50	0,87	0,45	19,63
Laranjeira	68,51	7,46	5,40	3,63	1,76	13,24
Pastagem	72,99	4,32	4,07	3,14	1,76	13,72
C1	1,43 <sup>ns</sup>	-0,76 <sup>ns</sup>	-0,56 <sup>ns</sup>	-0,59 <sup>ns</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>
C2	-1,09 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	-0,62 <sup>ns</sup>	-0,90 <sup>ns</sup>	-0,65 <sup>ns</sup>	2,72 <sup>ns</sup>
C3	2,30 <sup>ns</sup>	-2,06 <sup>ns</sup>	-2,57 <sup>ns</sup>	-2,28 <sup>ns</sup>	-1,30 <sup>*</sup>	5,91 <sup>*</sup>
C4	-4,48 <sup>ns</sup>	3,14 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>
10 a 20 cm						
Mata	60,91	8,66	7,19	5,54	2,59	15,11
Seringueira	69,92	4,33	2,98	1,82	6,90	14,05
Laranjeira	50,82	14,29	10,46	5,72	2,73	15,98
Pastagem	57,01	10,47	7,79	4,72	2,62	17,39
C1	3,90 <sup>ns</sup>	-1,80 <sup>ns</sup>	-0,60 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-2,29 <sup>ns</sup>
C2	3,36 <sup>ns</sup>	-1,16 <sup>ns</sup>	-1,07 <sup>ns</sup>	-0,95 <sup>ns</sup>	-0,81 <sup>ns</sup>	-2,37 <sup>ns</sup>
C3	12,91 <sup>ns</sup>	-6,14 <sup>ns</sup>	-4,81 <sup>*</sup>	-2,90 <sup>ns</sup>	-1,72 <sup>*</sup>	-3,33 <sup>*</sup>
C4	-6,19 <sup>ns</sup>	3,82 <sup>ns</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-1,42 <sup>ns</sup>
20 a 30 cm						
Mata	63,97	7,84	6,15	4,15	2,06	15,83
Seringueira	68,11	5,37	3,83	2,24	1,02	19,43
Laranjeira	38,92	16,46	16,01	9,38	4,02	14,79
Pastagem	37,84	21,61	13,44	6,77	3,37	16,97
C1	26,13 <sup>*</sup>	-13,77 <sup>*</sup>	-7,29 <sup>ns</sup>	-2,63 <sup>ns</sup>	-1,31 <sup>ns</sup>	-1,14 <sup>ns</sup>
C2	15,68 <sup>*</sup>	-10,69 <sup>*</sup>	-3,52 <sup>ns</sup>	-0,97 <sup>ns</sup>	-0,85 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
C3	30,27 <sup>*</sup>	-16,24 <sup>*</sup>	-9,61 <sup>*</sup>	-4,54 <sup>ns</sup>	-2,36 <sup>ns</sup>	2,46 <sup>ns</sup>
C4	1,08 <sup>ns</sup>	-5,15 <sup>ns</sup>	2,57 <sup>ns</sup>	2,60 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	-2,18 <sup>ns</sup>

C1 = (Mt - Pa); C2 = (Sr + Lr - 2 Pa); C3 = (Sr - Pa); C4 = (Lr - Pa)

<sup>\*</sup>, <sup>ns</sup> significativo e não significativo pelo teste "F" (P<0,05), respectivamente.

Na pastagem a agregação provavelmente está relacionada com a maior ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem, devido a pouca cobertura do solo, ocasionando maior exposição aos raios solares. Como a camada superficial está sujeita a mais ciclos de umedecimento e secagem e também mais intensos,

estes podem ter contribuído para a maior estabilidade dos agregados nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, já que qualquer agregado mais instável e dispersível é facilmente perdido por erosão neste sistema exposto. A menor estabilidade de agregados de 20 a 30 cm corrobora com essa afirmação, uma vez que nessa profundidade a ocorrência e intensidade dos ciclos é menor.

OLIVEIRA et al. (1996) trabalhando com ciclos de umedecimento e secagem, concluíram que seus efeitos sobre os agregados se manifestam mais à superfície. Esses ciclos levam a desidratação de ligantes orgânicos e inorgânicos do solo, que proporcionam a formação de agregados maiores e mais estáveis (HORN & DEXTER, 1998; HORN, 1990).

Ainda uma outra explicação possível para a agregação na pastagem, é que o aumento da estabilidade de agregados pode estar relacionado à diminuição da pressão do ar, uma vez que esse ambiente apresenta volume reduzido de macroporos. Um agregado mais maciço teria mais estabilidade não só pela cimentação, mas pela menor presença de ar interno, que de certa forma diminui a estabilidade de agregados, pois o ar preso dentro do espaço poroso pode quebrar o agregado quando for forçado a sair pela movimentação da água. Também deve-se considerar que na pastagem, onde se tem um solo mais exposto pela pouca cobertura vegetal, os agregados instáveis já foram tirados do sistema, sobrando proporcionalmente mais agregados estáveis, o que pode justificar a não diferenciação desse ambiente quanto à estabilidade de agregados.

O solo com seringueira apresentou as maiores proporção de agregados na classe AG 1, principalmente em profundidade, com valores superiores ao da mata. Estes resultados estão associados ao maior aporte de material vegetal nesse ambiente, e a ausência de tráfego de máquinas e implementos. Os maiores valores em profundidade indicam a maior bioturbação nesse ambiente, que pode estar aumentando MOP nessas profundidades, e incrementando a formação de macroagregados. Também a maior proporção de agregados na classe AG1 na profundidade de 20 a 30 cm do solo com seringueira sugere a participação das substâncias húmicas no processo de agregação, devido aos maiores valores das frações húmicas (FAF, FAH e FHN) nesta profundidade (Quadro 5). CHANEY &

SWIFT (1986), relataram um aumento na estabilidade dos agregados a partir do uso de ácidos húmicos, e FORTUN et al. (1990), demonstram que a fração mais efetiva no aumento da agregação são os ácidos fúlvicos e húmicos.

O fato dos solos não se diferenciarem quanto à estabilidade e distribuição de agregados nas primeiras profundidades é coerente com a classe da estrutura encontrado nesses ambientes, que é classificada com valores de médio a grande, e com o grau de desenvolvimento, que é forte na estrutura granular da mata, e na estrutura em blocos dos ambientes com uso agrícola.

O termo estabilidade de agregados é usado para descrever a habilidade do solo em manter seu arranjo espacial dos sólidos e vazios quando expostos a diferentes perturbações. De forma geral observou-se que não houve diferença marcantes na estabilidade e distribuição de agregados na profundidade de 0 a 10 e 10 a 20 cm, sendo que na profundidade de 20 a 30 cm o solo com seringueira se destacou, com maior proporção de agregados na classe AG 1. Este resultado indica uma boa estruturação no solo sob seringueira também em profundidade, concordando com os dados de densidade do solo, porosidade e retenção de água, que foram melhores nesse solo em todas as profundidades.

Por outro lado, a degradação estrutural indicada pela densidade do solo, a distribuição dos poros e retenção de água no solo com pastagem não foi refletida na distribuição e estabilidade de agregados neste ambiente. Isto demonstra que agregados de alta estabilidade nem sempre apresenta adequada distribuição de tamanho de poros entre os agregados e no seu interior, mostrando que elevada estabilidade de agregados não se traduz necessariamente em boa qualidade estrutural e ambiente físico favorável.



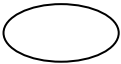
A estabilidade de agregados por via úmida tende a reproduzir a desintegração dos agregados provocada por ação da chuva sobre a superfície do solo e, segundo Kay (1999), há importantes características que refletem a habilidade do solo de manter o arranjo espacial de sólidos e vazios quando ocorre alguma perturbação, e determinações convencionais da estabilidade de agregados podem não mostrar resultados significativos para essas propriedades.

#### 4.7. Morfologia de agregados

Com relação à análise de agregados, é bom lembrar que foi utilizada uma escala não originada em zero para a definição de índices e sua aplicação a uma determinada forma geométrica. Para melhor entendimento foi feito um esquema de ilustração (Quadro 9).

Deve-se ressaltar que o grau de arredondamento expressa o quão arredondado são os agregados analisados. Pode-se notar por meio do Quadro 9, que uma figura geométrica perfeitamente redonda apresenta um valor máximo de grau de arredondamento igual a 1,00. À medida que se vai descendo na escala, as formas geométricas dos agregados analisados vão passando de arredondada para quadrada, sendo consideradas quadradas quando atingem o valor de grau de arredondamento igual a 0,85. Seguindo a escala, as formas geométricas dos agregados vão se transformando de quadradas para elipsoidais, atingindo a forma de uma elipse no valor de grau de arredondamento igual a 0,40.

Quadro 9. Representação de figuras geométricas com seus respectivos valores de grau de arredondamento, obtidos com base no programa QUANTPORO.

Formas geométricas	Grau de arredondamento
	1,00
	0,85
	0,40

É muito importante atentar para a escala assumida, uma vez que as diferenças entre as formas perfeitamente arredondadas, quadradas e elipsoidais dos agregados avaliados são pequenas dentro de uma escala que vai de 0 a 1.

Quadro 10. Valores médios para as características área, grau de arredondamento (GA), comprimento do maior eixo (MaEx), comprimento do menor eixo (MeEx) e alongamento (At) para os agregados entre 2 e 4 mm, nas diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios, no solo sob mata e diferentes usos agrícolas.

Usos	Área	GA	MaEx	MeEx	At
	-----pixels-----				
	0 a 10				
Mata	23659,33	0,67	199,60	167,00	0,85
Seringueira	24795,39	0,69	206,30	170,00	0,84
Laranjeira	22664,67	0,70	196,20	164,80	0,85
Pastagem	19327,34	0,70	178,50	152,20	0,86
C1	4331,98 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	21,16 <sup>ns</sup>	14,78 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
C2	4402,69 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	22,80 <sup>ns</sup>	15,18 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
C3	5468,05 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	27,85 <sup>ns</sup>	17,77 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
C4	3337,33 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	17,75 <sup>ns</sup>	12,59 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
	10 a 20 cm				
Mata	24787,36	0,68	202,99	172,24	0,86
Seringueira	23106,88	0,69	196,28	163,91	0,85
Laranjeira	22121,90	0,69	194,22	162,91	0,85
Pastagem	22394,19	0,70	195,00	163,64	0,85
C1	2393,17 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	7,99 <sup>ns</sup>	8,60 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
C2	220,20 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
C3	712,69 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
C4	-272,29 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,78 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
	20 a 30 cm				
Mata	27645,21	0,69	218,34	180,34	0,84
Seringueira	21633,15	0,72	190,31	159,87	0,85
Laranjeira	22577,28	0,69	196,26	162,72	0,84
Pastagem	19838,07	0,70	183,89	155,99	0,85
C1	7807,14 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	34,16 <sup>ns</sup>	24,34 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
C2	2267,14 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	9,40 <sup>ns</sup>	5,30 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
C3	1795,07 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	6,42 <sup>ns</sup>	3,88 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
C4	2739,21 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	12,37 <sup>ns</sup>	6,72 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>

C1 = (Mt - Pa); C2 = (Sr + Lr - 2 Pa); C3 = (Sr - Pa); C4 = (Lr - Pa)

\*,<sup>ns</sup> significativo e não significativo pelo teste "F" (P<0,05), respectivamente.

Como dito anteriormente, foram utilizadas as seguintes características dos agregados: área, grau de arredondamento, comprimento do maior e menor eixo e alongamento. Trabalhou-se com os agregados nas classes entre 2 e 4 mm e 1 e 2 mm.

Para a classe de agregados entre 2 e 4 mm (Quadro 10) observa-se que o uso antrópico do solo não modificou significativamente nenhuma das características morfológicas dos agregados, em todas as profundidades. Também entre os solos agrícolas não foi notada diferença na forma dos agregados analisados.

É interessante notar que houve uma tendência de se ter agregados com maior área nos solos com mata e seringueira, e menor área no solo com pastagem degradada, sugerindo alguma relação com os valores de carbono orgânico do solo (COT), que apresenta maiores valores nos solos com mata e seringueira e menores valores no ambiente com pastagem. Esta relação pode ser estendida para matéria orgânica particulada, que possivelmente segue a mesma tendência, e está relacionada à ocorrência de macroagregados.

Os resultados apresentados para o grau de arredondamento dos agregados são coerentes, uma vez que os solos apresentaram predominantemente o mesmo tipo de estrutura (em blocos), o que confere aos agregados graus de arredondamento semelhantes.

Ainda quanto ao tipo predominante de estrutura encontrada nos ambientes (blocos subangulares), os valores encontrados para grau de arredondamento são coerentes, apresentando valores entre as formas geométricas quadrada e elipsoidal, se aproximando mais da forma quadrada (mais ou menos 0,70).

Na estrutura tipo blocos as unidades estruturais apresentam dimensões equivalentes nas três direções do espaço, sendo que os blocos subangulares apresentam uma mistura de faces arredondadas e plana, com muitos vértices arredondados. A estrutura tipo granular apresenta partículas também arranjadas em torno de um ponto, como na estrutura em blocos, e em função disso, tem-se que discernir entre a estrutura em blocos e a granular, através dos aspectos das superfícies das unidades estruturais. Na estrutura em blocos as superfícies, planas ou ligeiramente curvas, estão em contato com as vizinhas. A estrutura granular tem a forma e o aspecto arredondado, porém não apresenta faces, mas sim pontos de contatos.

Quadro 11. Valores médios para as características área, grau de arredondamento (GA), comprimento do maior eixo (MaEx), comprimento do menor eixo (MeEx) e alongamento (At) para os agregados entre 1 e 2 mm, nas diferentes profundidades, e respectivos contrastes médios, no solo sob mata e diferentes usos.

Usos	Área	GA	MaEx	MeEx	At
	-----pixels-----				
	0 a 10 cm				
Mata	6148,97	0,73	104,35	86,86	0,84
Seringueira	5695,43	0,75	99,67	91,87	0,83
Laranjeira	5360,84	0,76	97,17	80,92	0,84
Pastagem	5668,36	0,74	94,49	79,10	0,85
C1	1047,01 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	9,86 <sup>ns</sup>	7,76 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
C2	426,17 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	3,93 <sup>ns</sup>	2,30 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
C3	593,46 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	5,18 <sup>ns</sup>	2,78 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
C4	258,87 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	2,68 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
	10 a 20 cm				
Mata	5484,40	0,74	97,71	82,24	0,85
Seringueira	5602,06	0,76	94,34	79,79	0,85
Laranjeira	5668,36	0,74	100,30	83,27	0,84
Pastagem	5594,15	0,75	94,4953	82,29	0,84
C1	-109,75 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,77 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
C2	41,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-1,16 <sup>ns</sup>	-0,71 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
C3	7,91 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-4,14 <sup>ns</sup>	-2,40 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
C4	74,21 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
	20 a 30 cm				
Mata	5431,94	0,73	97,85	81,90	0,84
Seringueira	5140,35	0,75	94,74	79,54	0,84
Laranjeira	5784,80	0,74	100,66	84,28	0,85
Pastagem	5503,36	0,74	98,18	82,13	0,84
C1	-71,42 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
C2	-40,78 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
C3	-363,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-3,44 <sup>ns</sup>	-2,59 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
C4	281,44 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	2,48 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>

C1 = (Mt - Pa); C2 = (Sr + Lr - 2 Pa); C3 = (Sr - Pa); C4 = (Lr - Pa)

\*,<sup>ns</sup> significativo e não significativo pelo teste "F" (P<0,05), respectivamente.

É interessante notar que a mata tem a tendência de apresentar os menores valores para grau de arredondamento, sugerindo a presença mais marcante da estrutura tipo granular na mata. Para um agregado passar da forma geométrica quadrada para a elipsoidal, em determinado ponto ele apresenta forma mais arredondada, e isto deve ocorrer em valores menores na escala assumida.

Para a classe de agregados de 1 a 2 mm (Quadro 11) notou-se o mesmo comportamento ocorrido com a classe de 2 a 4 mm, onde os agregados analisados não se diferenciaram entre os solos estudados, para todas as profundidades. Também com relação ao grau de arredondamento nesta classe, nota-se comportamento semelhante ao da classe de 2 a 4 mm, chamando a atenção com relação aos valores encontrados (mais ou menos 0,75), que são ligeiramente superiores nesta classe, indicando maior presença de agregados na forma de blocos.

Tanto para a classe de 2 a 4 mm como para a de 1 a 2 mm a não diferenciação dos resultados também pode estar associado ao fato dos agregados terem passado pelo peneiramento úmido antes de serem analisados morfológicamente, o que pode ter levado a homogeneização dos mesmos, pela quebra de suas arestas. Assim, em trabalhos posteriores, é recomendável a utilização de agregados com o mínimo de alteração possível.

#### **4.8. Micromorfologia**

Para uma mesma estrutura, do ponto de vista macromorfológico, os solos podem apresentar comportamentos distintos, principalmente hídricos e físico-químicos. Por exemplo, o aspecto físico do agregado (massividade) pode interferir no fluxo difusivo de elementos e, por sua vez, na sua distribuição para o interior do agregado, e deste à raiz. Neste contexto, os estudos micromorfológicos assumem grande importância, auxiliando outros métodos morfológicos, físicos, químicos e biológicos no estudo do solo, podendo ser empregados para avaliação de alterações nas propriedades físicas e morfológicas do solo, devido ao uso e manejo.

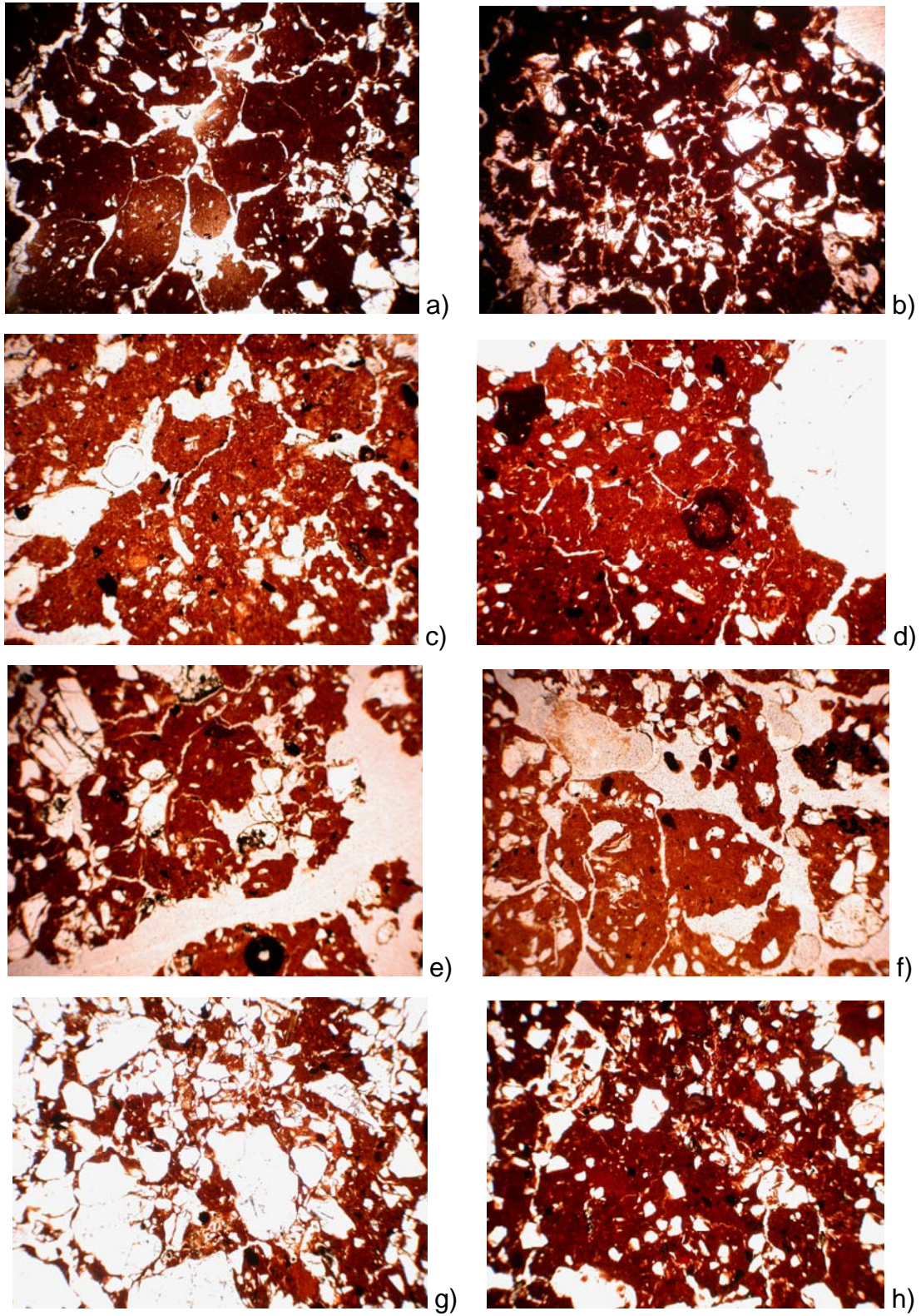


Figura 2 - Fotomicroscopia da microestrutura em lâmina delgada na superfície dos Argissolos sob mata (a, b), seringueira (c, d), laranja (e, f) e pastagem (g, h), feitas em microscópio com lente de 40 vezes.

Com base nas observações micropedológicas feitas em lâminas delgadas, elaborou-se o Quadro 12, que contém a descrição micromorfológica sucinta enfatizando a microestrutura, a porosidade e principais feições pedológicas.

Observando-se o Quadro 12 e Figura 2, nota-se que os solos apresentam microestrutura predominantemente em blocos incompleta, com menor expressão de arredondamento, e agregados arestados, com tendência à coalescência, condizente com a sua mineralogia caulínica. Há presença marcante de micropontuações de carvão em todos os ambientes agrícolas, que são atribuídos à utilização histórica dessa área com a cana, quando se fazia uso freqüente de queimadas. A própria mata registra eventos de fogo, já que também apresenta micropontuações de carvão, embora em menor número. A maior presença de MOL e canais biológicos na mata e seringueira indica que são ambientes mais protegidos, com melhores condições edáficas em superfície. A presença de mica nesses solos, por vezes intemperizada, além de presença de pápulas, é atribuída à intensa atividade biológica, causando bioturbação do solo, incorporando materiais do saprolito profundo nas camadas mais superficiais. Portanto, é destacada a importância da biota nos processos de formação dos Argissolos estudados.

Com base na Figura 2 e 3 e Quadro 12, pode-se notar que os ambientes se diferenciaram quanto a sua microestrutura, mostrando que o uso antrópico provocou modificações microestruturais no solo, de acordo com o uso e manejo diferenciado nos diferentes ambientes. SILVA et al. (1998) estudando possíveis modificações das propriedades micromorfológicas de um solo cultivado com cana-de-açúcar por dois, dezoito e vinte e cinco anos, tendo a mata como referência, observaram que após dezoito e vinte e cinco anos de cultivo, a rede de microporos mostrava mudanças na forma, transformando-se em poros mais ou menos descontínuos, e numerosas microfissuras não comunicantes, o que também pode ser observado neste trabalho.

A mata se diferencia, com a ocorrência de microestrutura granular parcialmente coalescida, variando de acordo com a ocorrência de material orgânico, parcialmente coalescida, resultando em elevada porosidade entre

agregados (Figura 2 a,b). Há também presença marcante de pelotas fecais, MOL e canais biológicos, mostrando que nesse ambiente, tanto a macroestrutura como a microestrutura, são essencialmente derivadas dos aportes orgânicos e da atividade biológica, sendo protegidas da ação das gotas de chuva e raios solares, pela maior cobertura vegetal.

Segundo BAVER (1956), a mineralogia predominantemente caulinítica leva a formação de estrutura do tipo blocos, concordando com o encontrado para esse solo, enquanto RESENDE (1990) diz que os óxidos de ferro e alumínio e a matéria orgânica tendem a produzir estrutura granular. Portanto a ocorrência da estrutura composta de blocos incompletos com granular no solo de mata está relacionada não apenas a mineralogia (predominantemente caulinítica), mas principalmente à ação biogênica e aos aportes de matéria orgânica na formação da estrutura granular, já que estes solos possuem baixos teores de óxidos.

A pastagem degradada, onde ocorrem baixas entradas de carbono e conseqüente baixa atividade biológica, apresenta microestrutura coesa, em blocos incompleta, com ausência de estrutura granular (Figura 2 g,h), enquanto a mata, com as maiores entradas de carbono e intensa atividade biológica, mostra uma estrutura com alta porosidade, e microestrutura granular, bastante heterogênea e associada a restos decompostos de matéria orgânica particulada. Isto demonstra a origem biogênica da microestrutura granular nestes solos, e chama a atenção para a importância da atividade biológica na gênese da microestrutura granular de solos tropicais, como apontado por SCHAEFER (2001).

SANTOS et al. (1991) empregando técnicas micromorfológicas, encontraram que a intensa atividade da microfauna do solo, pela presença de pelotas fecais cilíndricas e esferoidais de coloração vermelho-escura e em sua maior parte isolada, sugerem a participação de tais organismos na gênese da microestrutura daquele solo. DUARTE et al. (1996), examinando lâminas delgadas demonstraram que a atividade biológica tem papel importante no desenvolvimento daqueles solos, uma vez que micropeds arredondados, mais ou menos individualizados foram observados em todos os perfis avaliados. Além da homogeneização dos materiais de origem e da distribuição da matéria orgânica ao

longo dos perfis, o incipiente desenvolvimento de microestrutura granular, em um dos perfis, foi atribuída à manipulação do material do solo pela fauna, principalmente cupins e formigas.

Quadro 12 - Descrição da microestrutura dos Argissolos com base nas lâminas retiradas da superfície do solo sob mata, seringueira, laranja e pastagem degradada.

Usos	Microestrutura	Porosidade	Feições Pedológicas
Mata	Composta blocos incompletos com granular; altamente heterogênea com parte coalescida;	Interagregada; poros de empacotamento composto; raras fissuras; vazios abundantes;	Pelotas fecais; matéria orgânica leve(MOL); abundantes canais biológicos, micas degradadas; carvão em micropontuações; runiquartz;
Seringueira	Blocos completos (6-7 cm de diâmetro) com matriz intrapedal soldada e compacta; fraca microagregação;	Porosidade fissural e interpedal (macroporos); poucos poros de empacotamento; vazios abundantes;	Pontuações hematíticas; fragmentos de carvão; matéria orgânica leve abundante; micas; abundantes canais biológicos; runiquartz;
Laranja	Blocos incompleta, coalescida, microagregados parcialmente soldados;	Fissural e interpedal; parcialmente conectada;	Nódulos e concreções; pontuações hematíticas; papulas; carvão em fragmentos; canais biológicos raros; runiquartz;
Pastagem	Blocos quase totalmente coalescidos; fraca microagregação com agregados organo-minerais soldados e esqueleto quartzoso mais abundante que os demais usos;	Fissural e raros poros de empacotamento;	Pontuações hematíticas; micas; e fragmentos de carvão; canais biológicos raros; runiquartz;

NUNES et al. (2000), trabalhando com solos da Zona da Mata Mineira, afirmam que a presença de pelotas excrementais de microartrópodos, ligadas a restos de raízes e carvão, indica intensa formação de microagregados, cuja coalescência pode levar à formação de agregados maiores e estáveis pela bioplasmação.

O solo com seringueira apresenta uma microestrutura com blocos grandes e bem definidos, bastante compactos, porém com grande volume de vazios entre os agregados, além de porosidade fissural (Figura 2 b, c). Há abundância de MOL e canais biológicos. A análise micromorfológica confirma a maior resiliência estrutural do solo com seringueira frente aos demais usos agrícolas. A maior proteção do solo contra a ação direta da chuva e do sol, menores intervenções antrópicas e maior aporte de material orgânico culminaram em maior desenvolvimento da estrutura, notada pela elevada porosidade total (Figura - 3), embora ainda ocorra porosidade fissural, provavelmente advinda do uso anterior com cana. SILVA et al. (1998), por meio de micromorfologia, encontraram que a estruturação superficial dos solos, após dois anos de cultivo com cana-de-açúcar, é destruída, ocasionando drásticas reduções da macroporosidade, porosidade total, condutividade hidráulica saturada e aumento da densidade do solo.

O solo com laranja mostrou uma microestrutura em blocos pouco definidos, parcialmente soldada, e uma porosidade entre agregados e fissural, parcialmente conectada (Figura 2 c, d). Esse solo apresentou porcentagem de área de poros na lâmina intermediários entre seringueira e pastagem (Figura 3). Considerando o curto período de utilização com a laranja em relação aos usos com pastagem e seringueira, esse sistema se mostra favorável à manutenção e recuperação estrutural do solo.

Na pastagem degradada tem-se a pior condição microestrutural, com a presença de blocos quase totalmente coalescidos, levando a uma microestrutura bastante massiva, e abundante esqueleto quartzoso, evidenciando que os processos erosivos foram mais severos nesse solo, favorecendo a retirada de argila e matéria orgânica (Figura 2 g, h). A porosidade é praticamente toda em fissuras, sendo poucos os poros de empacotamento (agregação). Esse ambiente

apresentou a menor porcentagem de área de poros (Figura 3), corroborando com a condição física degradada mostrada pelos valores de DS, PT, Ma e EU (Quadro 7). Nota-se que a degradação estrutural provocada pelo uso anterior com cana foi mantida, ou ainda, piorada pelo uso com pastagem, onde se tem pouca cobertura do solo, baixos aportes orgânicos e menor atividade biológica.

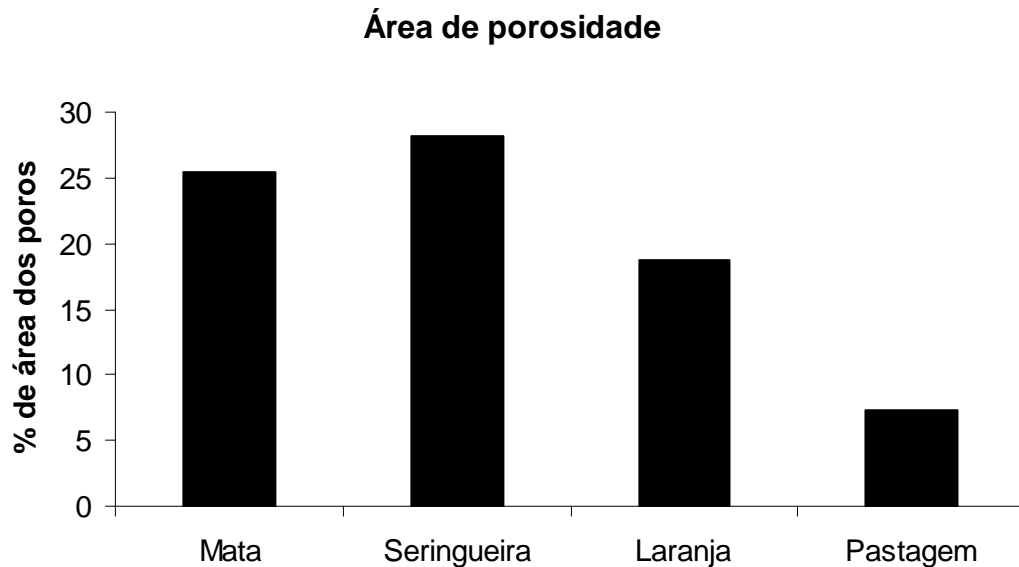


Figura 3 – Porcentagem de área de poros em lâmina delgada, na superfície do solo sob mata, seringueira, laranja e pastagem degradada.

A condição estrutural da pastagem se explica pelo manejo inadequado da mesma, com superpastejo e pastejo contínuo, que provoca a compactação do solo pelo pisoteio excessivo, bem como pela pouca cobertura vegetal, que diminuí as entradas de carbono no solo e aumentam ciclos de umedecimento e secagem. Na pastagem, os agregados formados a partir das frações da matéria orgânica e atividade biológica, se fragmentam quando submetidos aos ciclos de umedecimento de secagem (OLIVEIRA, 1994; JANTSCH, 1997; BASTOS, 2005), provocando a exposição de cargas do interior dos agregados, que auxilia na hidratação destes (OLIVEIRA, 1996). Com a desidratação há um aumento progressivo da tensão na massa, até a ruptura em forma de fendas verticais e, ou, horizontais, a partir de pontos de fraqueza na superfície, o que explica a grande

porosidade fissural encontrada. Ao atingir a umidade de equilíbrio, as partículas se reorganizam, podendo ocorrer a formação de ligações estáveis entre os agregados (BARTOLI et al., 1992b; IWATA et al., 1998).

VIANA et al. (2004) avaliando o efeito de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de Latossolos encontraram que houve uma acomodação e rearranjo das partículas após os ciclos, e que os agregados neoformados apresentaram-se sempre como unidades maiores, em blocos onde a mineralogia foi caulínica, com macroporosidade entre essas unidades. Mudanças microestruturais também foram descritas por TESSIER et al. (1990), que trabalhando com diversas velocidades de hidratação de argilas, encontraram que o umedecimento lento de um material caulínico provocou arranjo grosseiro face a face, em blocos.

Na pastagem, a pressão do pisoteio animal e potencialização de ciclos de umedecimento e secagem contribuem para a estrutura massiva e coesa observada, com porosidade basicamente fissural, advindo dos ciclos de umedecimento e secagem. Na laranja, a melhor cobertura do solo e maiores entradas de carbono propiciaram uma manutenção ou recuperação parcial da estrutura, que se apresentou menos coalescida que na pastagem, ainda apresentado fissuras, mas com maior volume de poros interagregados, com conectividade parcial. Na seringueira observa-se a maior recuperação e manutenção estrutural entre os usos agrícolas, ainda mantendo uma certa porosidade fissural, mas com vazios abundantes entre os agregados e presença de poros de empacotamento, com maior presença de MOL e canais biológicos, se aproximando mais das condições observadas na mata.

Percebe-se que a retirada da mata nativa para a utilização agrícola do solo, pela maior exposição e fragilidade, bem como pela utilização agrícola sem preocupações conservacionistas em um relevo acidentado, favoreceu a erosão laminar, provocando a degradação física do solo. A implantação de novos usos agrícolas nesse solo levou a alterações macroestruturais e microestruturais diferenciadas. A pastagem degradada manteve ou mesmo agravou a condição física, a laranja apresentou uma ligeira melhora em relação à pastagem, e a

seringueira foi o uso que mostrou melhor potencial para recuperação estrutural entre os usos agrícolas, se igualando à mata em termos de porosidade.

## 5. CONCLUSÕES

O grau de resiliência da estrutura para as condições de referência (mata) foi seringueira > laranjeira > pastagem degradada, com ativa formação da estrutura por processos biológicos nos solos com seringueira e laranja, ao passo que no solo com pastagem degradada a estrutura foi marcadamente influenciada por processos físicos.

O solo com seringueira apresentou o grau mais avançado de resiliência estrutural, coexistindo os maiores valores de carbono orgânico total, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, humina, macroporosidades e retenções de água, e os menores valores de densidade do solo, em todas as profundidades, sendo inverso ao comportamento da pastagem degradada.

Não houve diferenças entre os solos avaliados quanto a argila dispersa em água, grau de floculação, grau de dispersão e estabilidade e distribuição de agregados na profundidade de 0 a 10 e 10 a 20 cm, e para morfologia dos agregados em todas as profundidades.

A análise micromorfológica confirmou a resiliência estrutural para as condições de referência (mata) na ordem seringueira > laranja > pastagem. A pastagem mostrou uma microestrutura massiva, em blocos quase totalmente coalescidos, e porosidade basicamente fissural, com raros canais biológicos, enquanto na seringueira houve um maior desenvolvimento estrutural, ocorrendo poros de empacotamento e grande volume de poros interagregados, e expressiva ocorrência de matéria orgânica leve e canais biológicos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. **Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil.** Geomorfologia. São Paulo, 20, 1996. 26p.
- ACTION, C.J.; RENNIE, D.A. & PAUL, E.A. **The relationship of polysaccharides to soil aggregation.** Canadian Journal Soil Science, 43: 201-209, 1963.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F.; BERTIN, E.G.; ANDRIOLI, F.F. & CAMILOTTI, F. Utilização de plantas de coberturas em pré-safra à cultura do milho em plantio direto. Efeito na agregação do solo. In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15, 2004, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria, CD-ROOM, 2004.
- ANGERS, D.A. **Changes in the soil aggregation and organic C under corn and alfalfa.** Soil Science Society American Journal, 56: 1244-1249, 1992.
- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; INOUE, T.T. & COSTA, A.C.S. **Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28: 495-504, 2004.
- ARIAS, M.; BARRAL, M.T. & DIAZ-FIERROS, F. **Effects of associations between humic acids and iron or aluminium on the flocculation and aggregation of Kaolin and quartz.** European Journal of Soil Science, 47: 335-343, 1996.
- ARMSTRONG, A.S.B. & TANTON, T.W. **Gypsum applications to aggregate saline sodic clay topsoils.** Journal Soil Science, 43: 249 -260, 1992.
- BALL, B.C. **Pore characteristics of soil from two cultivation experiments as shown by gas diffusivities and permeability and air-filled porosities.** Journal Soil Science, 32: 483-498, 1981.
- BARTOLI, F.; PHILIPPY, R. & BURTIN, G. **Aggregation in soils with small amounts of swelling clays. I. Aggregate stability.** Journal Soil Science, 39: 593-616, 1988.
- BARTOLI, F.; PHILLIPPY, R. & BURTIN, G. **Poorly ordered hydrous Fe oxides, colloidal dispersion and aggregation. II. Modification of silty soil aggregation with Fe(III) polycations and model humic macromolecules.** Journal Soil Science, 43: 59-75, 1992.
- BARTOLI, F.; PHILLIPPY, R.; PORTAL, J.M. & GERARD, B. **Poorly ordered hydrous Fe oxides, colloidal dispersion and aggregation. I. Effect of**

**humic macromolecules on surface and colloidal properties of Fe(III) polycations.** Journal Soil Science, 43: 47-58, 1992a.

BAROLI, F.; BURTIN, G. & GUÉRIF, J. **Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or in goethite. II Clay dispersion, aggregate strength and water-stability.** Geoderma, 54: 259-274, 1992b.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E. S.; ALAVAREZ V., V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. **Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas.** R. Brasileira de Ciência do Solo, 29:1-31, 2005.

BARZEGAR, A.R.; RENGASAMY, P. & OADES, J.M. **Effects of clay type and rate of wetting on the mellowing of compacted soils.** Geoderma 68: 39-49, 1995.

BAVER, L.D. **Soil Physics**, 3<sup>o</sup> ed. John Wiley & Sons, New York, 1956. 489p.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. **Física de suelos.** México, U.T.E.H.A., 1973, 529p.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre, Gênese, 1999, 06 -26 p.

BEARE, M.H.; CABRERA, M.L.; HENDRIX, P.F. & COLEMAN, D.C. **Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils.** Soil Science Society American Journal, 58:787-795, 1994.

BEARE, M.H.; HU, S.; COLEMAN, D.C. & HENDRIX, P.F. **Influences of mycelial fungi on soil aggregation and organic matter storage in conventional and no-tillage soils.** Applied Soil Ecology, 5: 211-219, 1997.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** Viçosa: UFV; imprensa Universitária, 1989. 596p.

BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; BRAUDEAU, E.; BISSONNAIS, Y. LE & VALENTIN, C. **Regulation of soil structure by geophagous earthworms activities in humid savannas of Côte d'Ivoire.** Soil Biology & Biochemistry, 29: 431-439, 1997.

BOSSUYT, H.; DENEFF, J.; SIX, J.; FREY, S.D.; MERCKX, R. & PAUSTIAN, K. **Influence of microbial population and residue quality on aggregate stability.** Applied Soil Ecology, 16: 1995-2008, 2001.

- BOTELHO DA COSTA, J. **Caracterização e constituição do solo**. 3ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1985. 527p.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Astos. 7ª ed. 1989.878p.
- BREWER, R. & SLEEMAN, J. R. **Soil structure and fabric**. Journal Soil Science, 11: 172-185, 1960.
- BROMICK, C.J. & LAL, R. Soil Structure and management: a review. Geoderma, 124: 3-22, 2005.
- BRUAND, A.; COUSIN, I.; NICOUILLAUD, B.; DUVAL, O. & BÉGON, J.C. **Backscatter electron scanning imagers of soil porosity for analyzing soil compaction around roots**. Soil Science Society American Journal, 60: 895-901, 1996.
- CAMBARELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. **Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils**. Soil Science Society American Journal, 57: 1071-1076, 1993.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R. & CASSOL, L.C. **Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23 : 383 -391, 1999.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. & AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica do solo. In: Santos, G.A. & Camargo, F.A.O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, 1999. 69-90 p.
- CARON, J.; & KAY, B.D. **Rate of response of structural stability to a change in water content: Influence of cropping history**. Soil Tillage Research, 25: 167-185, 1992.
- CARON, J. & KAY, B.D.; STONE, J.A. **Improvement of structure stability of a clay loam with drying**. Soil Science Society American Journal, 56: 1583-1590, 1992a.
- CARVALHO JÚNIOR, I.A. DE. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em Latossolos de textura média, sob diferentes usos**. Viçosa, UFV, 1995. 83p. (tese de mestrado).
- CARVALHO, S. R. **Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma Terra Roxa Estruturada**. (Tese de Mestrado). Piracicaba, USP/ESALQ, 89p.

- CHANEY, K. & SWIFT, R. S. **Studies on aggregate stability. II. The effect of humic substances on the stability of re-formed aggregates.** Journal Soil Science, 37: 337-343, 1986.
- CHANEY, K. & SWIFT, R. S. **The influence of organic matter on the stability of some British soil.** Journal Soil Science, 35: 223-230, 1984.
- COCKROTF, B. & OLSSON, K. A. Case study of soil quality in south-eastern Australian: management of structure for roots in duplex soils: GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. (Eds), **Soil quality for crop production and ecosystem health. Developments in soil science.** New York, Elsevier 1997. p.339-350.
- COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C.R.; ALVES, M.C. & SOUZA, J.G. Recuperação da estrutura de um Latossolo Vermelho degradado tratado com lodo de esgoto. In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15, 2004, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria, CD-ROOM, 2004.
- COSTA, B.M. Degradação das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 5, 1978, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1980.5-7p.
- CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. **Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo 27: 311-324, 2003.
- DADALTO, G.G.; COSTA, L.M. & MOURA FILHO, W. **Alterações em características químicas de solos cultivados com pastagens.** Revista Ceres, 3: 395-264, 1986.
- da SILVA, A. & KAY, B.D. **Estimating the least limiting water range of soils form properties and management.** Soil Science Society American Journal, 61: 877-883, 1997.
- DEGENS, B.P., SPARLING, G.P. & ABBOTT, L.K. **The contribution from hyphae, roots and organic carbon constituents to the aggregation of a sandy loam under long-term clover-based and grass pastures.** European Journal of Soil Science, 45: 459-468, 1994.
- DEXTER, A.R. **Advances in characterization of soil structure.** Soil & Tillage Research, 11: 199-238, 1988.
- DEXTER, A.R. **Tunnelling of soil by earthworms.** Soil Biology & Biochemistry, 10: 447-449, 1978.

- DORIOZ, J.M.; ROBERT, M.; & CHENU, C. **The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization. An experiment approach.** Geoderma 56: 179-194, 1993.
- DORMAAR, J. T. & FOSTER, R.C. **Nascent aggregate in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perene L.*).** Canadian Journal Soil Science, 71: 465-474, 1991.
- DUARTE, M.N.; RAMOS, D.P.; LIMA, P.C. Caracterização e gênese de solos desenvolvidos de cobertura quartenária sobre o embasamento cristalino, na Baixada Litorânea do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:291-304, 1996.
- EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo.** Ministério da Agricultura, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: 1999. 412p.
- EUA, Department of Agriculture. Soil Survey Staff. **Soil survey manual.** Washington, Soil Cons. Serv.,1951. 503p. (Handbook 18).
- FITZPATRICK, E. A. **Soil microscopy and micromorphology.** New York, John Wiley & Sons, 1993. 304p.
- FELBECK, G.T. **Structural chemistry of soil humic substances.** Advances in Agronomy, 17: 49 – 67, 1997.
- FERREIRA, J. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros.** Rio de Janeiro, 27: 446-452, 1959.
- FORTUN, A.; FORTUN, C. & ORTEGA, C. **Effect of farmyard manure and its humic fraction on the aggregate stability of sandy-loam soil.** Journal Soil Science, 40: 293-298, 1989.
- FORTUN, A.; BENAYAS, J. & FORTUN, C. **The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: a micromorphological study.** Journal Soil Science, 41: 563-572, 1990.
- GALE, W.J.; CAMBARELLA, A.C. & BAILEY, T.B. **Root-derived carbon and formation and stabilization of aggregates.** Soil Science Society American Journal, 64:201-207, 2000a.
- GALE, W.J.; CAMBRARDELLA, A.C. & BAILEY, T.B. **Surface Residue and Root-derived Carbon in Stable and Unstable Aggregates.** Soil Science Society American Journal, 64: 196-201, 2000b.

- GUIMARÃES, C.V.; ALVES, M.C.; HIPÓLITO, J.L. & BARBERIS, M.R.M. Uso de Ajifer I40 e a estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho do noroeste paulista. In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15, 2004, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria, CD-ROOM, 2004.
- GREVERS, M.C.J. & de JONG, E. **The characterization of soil macroporosity of a clay soil under ten grasses using image analysis.** Canadian Journal Soil Science, 70: 93-103, 1990.
- GROHMANN, F. **Estrutura** In: MONIZ, A.C., ed. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. 101-110p.
- GUGGENBERGER, G.; ELLIOT, E.T.; FREY, S.D.; SIX, J. & PAUSTIAN, K. **Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch.** Soil Biology & Biochemistry, 31: 407-419, 1999.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G. & ALLEN, O.N. **Dynamics of soil aggregation.** Advances in Agronomy, 18: 107-169, 1966.
- HAYNES, R.J. & BEARE, M.H. **Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions.** Soil Biology Biochemistry, 29: 1647 -1653, 1997.
- HENDRIX, P.F. **Soil Fauna** In: A. Sumner, M.E., ed. Handbook of Soil Science. Boca Raton, CRC Press, 1999. 229-276 p.
- HOLE, F.D. **Effects of animals on soil.** Geoderma, 25: 75-112, 1981.
- HORN, R. **Aggregate characterization as compared to soil bulk properties.** Soil Tillage Research, 17: 265-289, 1990.
- HORN, R. & DEXTER, R.A. **Dynamics of soil aggregation in an irrigated desert loess.** Soil Tillage Research, 13: 253-266, 1988.
- IWATA, S.; TABUCHI, T. & WARKERTIN, B.P. **Soil-water interactions.** New York, Marcel Dekker, 1988. 308p.
- JANTSCH, R.L. **Estado de agregação de materiais de Latossolos submetidos a calagem em diferentes condições de temperatura e umidade relativa.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 78p. (Tese de Mestrado).
- JASTROW, J.D.; MILLER, R.M. & LUSSENHOP, J. **Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregation stabilization in restored prairie.** Soil Biology Biochemistry, 30: 905 – 916, 1998.

- JONGMANS, A.G.; PULLEMAN, M.M.; BALABANE, M.; OORT, F.V. & MARINISSEN, J.C.Y. **Soil Structure and characteristics of organic matter in two orchards differing in earthworm activity.** Applied Soil Ecology, 24: 219-232, 2003.
- JOSE, O. **Visconde do Rio Branco: Terra-Povo-História.** Imprensa Oficial de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1982, 565p.
- KAY, B.D. & ANGERS, D.A. **Soil Structure.** In: A. Sumner, M.E., ed. Handbook of Soil Science. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.229-276.
- KAY, B.D. **Rates of change of soil structure under different cropping system.** Advances Soil Science, 12:1-52, 1990.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. **Size distribution of aggregates.** In: BLACK C.A. Methods of soil analysis. Part1. Madison: ASA, 1965. p.495-509.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia – relações solo-planta.** São Paulo, Editora agrônômica Ceres, 1979. 262p.
- KINSBURSKY, R.S.; LEVANON, D. & YARON, B. **Role of fungi in stabilizing aggregate of sewage sludge amended soil soil.** Soil Science Society American Journal, 53: 1086-1091, 1989.
- KÖNIG, F.G.; SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; KLEINPAUL, I.S. & KLEINPAUL, J.J. Densidade do solo ao longo de uma rotação de Pinus taeda no município de Cambará do Sul – RS. In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15, 2004, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria, CD-ROOM, 2004.
- LAFOND, J.; ANGERS, D.A. & LAVERDIERE, M.R. **Compression characteristic of a clay soil as influenced by crops and sampling dates.** Soil Tillage Research, 22: 233-241, 1992.
- LAL, R. **Soil structure and sustainability.** Journal Sustainable Agriculture, 1: 67-92, 1991.
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. & USECHE, R.A. **Compression of soils from eight soil orders.** Soil Science Society American Journal, 44: 450-457, 1980.
- LEE, K.E. & FOSTER, R.C. **Soil fauna and soil structure.** Australian Journal Soil Research, 29: 745-775.1991.
- LIMA, C.R.L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. **Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27: 199-205, 2003.

- LYNCH, J.M., & BRAGG, E. **Microorganism and soil aggregate stability.** *Advances Soil Science*, 2: 133-171, 1985.
- MANRIQUE, L.A. & JONES, C.A. **Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties.** *Soil Science Society American Journal*, 55: 476-481, 1991.
- MANDO, A. & MIEDENA, R. **Termite-induced change in soil structure after mulching degraded crusted soil in the Sahel.** *Applied Soil Ecology*, 6: 241-249, 1997.
- MATERECHERA, S.A.; DEXTER, A.R. & ALSTON, A.M. **Formation of aggregate by plant roots in homogenised soils.** *Soil Plant* 142: 69-79, 1992.
- MC-BRIDE, R.A., & WATSON, G.C. **An investigation of the re-expansion of unsaturated, structured soils during cycles static loading.** *Soil Tillage Research*, 17: 241-253, 1990.
- MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica e características químicas de agregados de um Latossolo Vermelho-amarelo sob mata natural, seringueira e pastagem.** Viçosa, MG, 1998. 78p. (Tese de mestrado)
- MENDONÇA, E.S. & ROWELL, D.L. **Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity.** *Soil Science Society American Journal*, Madison, 60: 188-192, 1996.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: ed. UFLA, 2002. 626p.
- NASCIMENTO, V.M.; ALMENDROS, G. & FERNANDES, F.M. **Soil húmus characteristics in virgin and cleared areas of the Paraná river basin in Brazil.** *Geoderma*, 54: 137-150, 1992.
- NIKIFOROFF, C. C. **Morphological classification of soil structure.** *Soil Science*, 52: 193-212, 1941.
- NUNES, W. A. G. A.; SCHAEFER, C. E. R.; KER, J. C. & FERNANDES FILHO, E. I. **Caracterização micropedológica de alguns solos da Zona da Mata Mineira,** *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 24:103-115, 2000.
- OADES, J. M. **Mucilagens at the root surface.** *Journal Soil Science*, 29: 1-16, 1978.
- OADES, J. M. **Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management.** *Plant and Soil*, 76: 319-337, 1984.

- OADES, J. M. **The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure.** Geoderma 56: 377-400, 1993.
- OLIVEIRA, L. C. A. **Comportamento de colóides e microagregados em colunas de materiais de dois Latossolos submetidos a sucessivos ciclos de umedecimento e secagem.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994 63 p. (Tese de Mestrado)
- OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M.; REGAZZI, A. J. & FIGUEIREDO, M. S. **Efeito de ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro latossolos brasileiros.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 20:509-515, 1996.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J. S. C. **Effects of different organic waste amendments on soil microaggregate stability and molecular sizes of humic substances.** Plant and Soil, 123: 27-37, 1990.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J. S. C. **Humic substances and surfactants and effects on the stability of two tropical soils.** Soil Science Society American Journal, Madison, 58: 950-955, 1994.
- PINTO, P. A. C. **Consequência do aquecimento sobre a agregação e outras características dos materiais de Latossolos do Triângulo Mineiro.** Viçosa, U.F.V., 1980, 70p (Tese de mestrado)
- PORTUGAL, A. F.; SANTOS, B. C. M.; DELARCO, A.; COSTA, O. V.; COSTA, L. M. & SILVA, L. **Avaliação física e química de um Cambissolo Haplico TB distrófico submetido a diferentes usos.** IN: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Resumos....**Rib. Preto - SP, CD-ROOM, 2003.
- PORTUGAL, A. F.; SANTOS, B. C. M.; COSTA, O. V. & COSTA, L. M. **Avaliação da sustentabilidade da agricultura em um solo na região da zona da mata mineira.** In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15, 2004, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria, CD-ROOM, 2004.
- PRESTON, S.; WIRTH, S.; KIRTZ, K.; GRIFFITS, B. S. & YOUNG, I. M. **The role played by microorganism in the biogenesis of soil cracks: importante of substrate quantity an quality.** Soil Biology & Biochemistry, 33: 1851-1858, 2001.
- PROFFITT, A. P. B.; BENDOTTI, S.; HOWELL, M. R. & EASTHAM, J. **The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown Earth.** Australian Journal Research., Melbourne, v.44, n.2, p.317-331,1993.

- PULLEMAN, M.; JONGMANS, A.; MARINISSEN, J. & BOUMA, J. **Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands.** Soil Use and Management, 19: 157-165, 2003.
- RAMOS, M. C.; NACCI, S.; PLA, I. **Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregating forces.** Catena 53, 365-376, 2003.
- RESENDE, M. **Pedologia.** Imprensa universitária, UFV, Viçosa, 1990. 100p.
- REZENDE, S. B. & RESENDE, M. Solos dos mares de morros: ocupação e uso. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; & FONTES, M. P. F. **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o domínio sustentável.** Viçosa, SBCS & UFV, 1996. p. 261-289.
- SAGGAR, S.; YEATES, G. W. & SHEPHERD, T. G. **Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soil in New Zeland.** Soil & Tillage Research, 58: 55-68, 2001.
- SANCHES, A. C.; SIVLA, A. P.; TORMENA, C. A. & RIGOLIN, A. T. **Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho-Amarelo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 23:91-99, 1999.
- SANTOS, M. C. D.; MERMUT, A. R.; RIBEIRO, M. R. **Micromorfologia de solos com argila de atividade baixa no sertão de Pernambuco.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 15:83-91, 1991.
- SCHAEFER, C. E. R. **Brazilian latosols an their B horizon microstructure as long-term constucts.** Australian journal Soil Research, 39:909-926, 2001.
- SCHAEFER, C. E. R; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N. **Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada.** Pesquisa Acropecuária Brasileira, 37: 669-678, 2002.
- SEBRAE – **Diagnóstico da Fruticultura de Minas Gerais,** Minas Gerais, 202p, 2001.
- SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; MERMUT, A. R. & BENKE, M. B. **Influência do cultivo contínuo de cana-de-açúcar em Latossolos Amarelos coesos do Estado de Alagoas: propriedades micromorfológicas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22:515-525, 1998.

- SILVA, I. F. & MIELNICZUK, J. **Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 21:313-319, 1997.
- SIX, J.; PAUSTRIAN, K; ELLIOTT, E. T. & COMBRINK, C. **Soil Structure and organic matter: distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon.** Soil Science Society American Journal, 64: 681-689, 2000a.
- SIX, L.; ELLIOT, E. T. & PAUSTIAN, K. **Soil structure and soil organic matter: II A normalized stability index and the effect of mineralogy.** Soil Science Society American Journal, 64: 1042-1049, 2000b.
- SORENSEN, L. H. **Rate of decomposition of matter organic in soil as influenced by repeated air drying-wetting and repeated additions of matter organic.** Soil Biology & Biochemistry, 6: 287-292, 1974.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** 2 ed. New York, 1994. 496p.
- STOLF, R. A. **Compactação do solo e perspectivas da subsolagem em citrus.** Laranja, 2: 283-308, 1987.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: **Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.** D.L. SPARKS et al., (eds.). Madison, Soil Science Society American. 1996. 1011-1069 p.
- TESSIER, D.; BEUMONT, A. & PEDRÓ, G. **Influence of clay mineralogy and rewetting rate on the clay microstructure.** In: Soil micromorphology: a basic and applied science. INTERNATIONAL WORK MEETING OF SOIL MICROMORPHOLOGY, 8., San Antonio, 1998. Proceedings. Amsterdam, Elsevier Science, 1990. p.191-198.
- TISDALL, J. M & OADES, J. M. **Organic matter and water-stable aggregates in soils.** Journal Soil Science, London, 33: 141-163, 1982.
- TOME JR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo.** Guaíba: Agropecuária. 1997.247p.
- UTOMO, W.H. & DEXTER, A. R. **Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil.** Journal Soil Science, 33: 923-937, 1982.
- VIANA, J. H. M. & FERNANDES FILHO, E. I. Quantporo: um novo programa para tratamento e quantificação de imagens digitais para aplicação em ciência do solo. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28, Londrina-PR, 367p. **Resumos.** 2001.224 p.

- VIANA, J. H. M.; FERNANDES FILHO, E. I. & SCHAEFER, C. E. G. R. **Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de Latossolos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo 28: 11-19, 2004.
- WENKE, J. F. & GRANT, C. D. **The indexing of self-mulching behaviour in soils.** Austalian Journal Soil Research, 32: 201-211, 1994.
- WHITTING, L. D. & ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: **Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods.** Klute, A., ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. 331-362p.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. **A rapid and precise method or routine determination of organic carbon in soil.** Commum. New York: Soil Science, 19: 1467-1476, 1988.